

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO - UNINOVE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**ESTUDO DOS FATORES QUE MOTIVAM, BENEFICIAM E DIFICULTAM A  
IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS ISO 9001 E 14001 EM EMPRESAS DE  
ENGENHARIA DE PROJETOS E CONSULTIVA: MODELAGEM USANDO OS  
MÉTODOS DOS MÍNIMOS QUADRADOS E DE SUPERFÍCIES DE RESPOSTA**

**MARCO ANTONIO CORTELLAZZI FRANCO**

**SÃO PAULO**

**Abril, 2019**

**MARCO ANTONIO CORTELLAZZI FRANCO**

**ESTUDO DOS FATORES QUE MOTIVAM, BENEFICIAM E DIFICULTAM A  
IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS ISO 9001 E 14001 EM EMPRESAS DE  
ENGENHARIA DE PROJETOS E CONSULTIVA: MODELAGEM USANDO OS  
MÉTODOS DOS MÍNIMOS QUADRADOS E DE SUPERFÍCIES DE RESPOSTA**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Engenharia de Produção.

Prof. José Carlos Curvelo Santana, Dr.  
Orientador.

**SÃO PAULO**

**Abril, 2019**

Franco, Marco Antonio Cortellazzi.

Estudo dos fatores que motivam, beneficiam e dificultam a implantação dos sistemas ISO 9001 e 14001 em empresas de engenharia de projetos e consultiva: modelagem usando os métodos dos mínimos quadrados e de superfícies de resposta. / Marco Antonio Cortellazzi Franco. 2019.

119 f.

Tese (doutorado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2019.

Orientador (a): Prof. Dr. José Carlos Curvelo Santana.

1. Sistemas de gestão normalizados. 2. ISO 9001. 3. Engenharia de projeto. 4. ISO 14001. 5. Planejamento fatorial.

I. Santana, José Carlos Curvelo. II. Título

CDU 658.5

**PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE TESE**

**DE**

Marco Antonio Cortellazzi Franco

Título da Tese: Estudo de Fatores que Motivam, Beneficiam e Dificultam a Implantação dos Sistemas ISO 9001 e 14001 em Empresas de Engenharia Consultiva e de Projetos. Modelagem Usando os Métodos dos Mínimos Quadrados e da Superfície de Resposta


A Comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, considera o(a) candidato(a) Marco Antonio Cortellazzi Franco APROVADO.

São Paulo, 16 de abril de 2019.

Prof(a). Dr(a). José Carlos Curvelo Santana (PPGEP/UNINOVE) - Orientador

  
\_\_\_\_\_

Prof(a). Dr(a). Jorge Marcos Rosa (IPEN/USP) - Membro Externo

  
\_\_\_\_\_


Prof(a). Dr(a). Alexandre de Oliveira e Aguiar (GeAS/UNINOVE) - Membro Externo

  
\_\_\_\_\_

Prof(a). Dr(a). Rosângela Maria Vanalle (PPGEP/UNINOVE) - Membro Interno

  
\_\_\_\_\_

Prof(a). Dr(a). Thadeu Alfredo Farias Silva (FEQ/UNICAMP) - Membro Externo

  
\_\_\_\_\_

Aos meus pais, Ignácio e Deolinda (*in memoriam*), a minha esposa Cleusa e aos meus filhos Rafael, Veridiana e Stefania.

## AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida.

Aos meus pais Ignacio e Deolinda (*in memoriam*) pela formação recebida.

A Universidade Nove de Julho – UNINOVE pela oportunidade de realizar o curso de doutorado e pela bolsa concedida.

Ao Prof. Dr. José Carlos Curvelo Santana pela confiança, incentivo, paciência e orientação durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores e colegas do curso pelo conhecimento transmitido, apoio e incentivo.

A minha esposa e filhos pelo apoio, incentivo e compreensão.

As empresas que participaram da pesquisa pela colaboração.

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Verifica-se que no decorrer da última década é crescente o número de empresas prestadoras de serviços de engenharia que implantam sistemas de gestão da qualidade e da gestão ambiental, motivadas, dentre outros fatores, pela melhoria de sua imagem no mercado, redução de custos, aumento da competitividade e pressão dos clientes. Nos últimos vinte anos, vários estudos utilizaram modelos teóricos para identificar os motivos que levam as organizações a implantar sistemas de gestão normalizados, os benefícios obtidos por sua implantação e as dificuldades encontradas. Com o objetivo de contribuir com esses estudos esta tese procurou identificar os motivos, benefícios e dificuldades e integrá-los em modelos matemáticos que indicassem a influência de cada um, sobre a decisão das empresas brasileiras de engenharia de projeto de implantar o sistema da gestão de qualidade ISO 9001 e o sistema de gestão ambiental ISO 14001. Para esse fim, utilizaram-se planejamentos fatoriais, o método dos mínimos quadrados e o método das superfícies de resposta. Esta pesquisa adotou uma abordagem quantitativa, com um levantamento tipo *survey* junto as cinquenta e nove maiores empresas brasileiras de engenharia de projetos e consultoria. O instrumento de pesquisa utilizado foi um questionário, disponibilizado na *internet* por um período de aproximadamente quatro meses. Das cinquenta e nove empresas contatadas obteve-se como resposta dezesseis questionários completos. Os resultados obtidos para a ISO 9001 mostram que modelos lineares e quadráticos foram os que mais se ajustaram ao sistema, e o fator que mais influenciou para sua implantação foi o operacional. Os benefícios obtidos relacionam-se com os fatores operacional e financeiro e as dificuldades enfrentadas com a gestão da empresa. Considerando-se a ISO 14001, o modelo que mais se ajustou foi o linear e o fator que teve maior influência em sua implantação foi o *marketing*. Os benefícios obtidos relacionaram-se principalmente com o fator operacional e as dificuldades observadas com o fator gestão da empresa.

Palavras chave: Sistemas de gestão normalizados, engenharia de projeto, ISO 9001, ISO 14001, planejamento fatorial, método dos mínimos quadrados, método das superfícies de resposta.

## ABSTRACT

Over the last decade, the number of companies providing engineering services that implemented quality management systems and environmental management systems, motivated among other factors, with the improvement of its image in the market, cost reduction, better competitiveness and pressure of customers, is increasing. Using theoretical models, in the last two decades several studies have been published seeking to identify the factors that induce organizations to implement standardized management systems, the benefits obtained from their implementation and the difficulties encountered. With the objective of contributing to these studies, this thesis seeks to identify the reasons, benefits and difficulties and integrate them into a mathematical model that indicates the influence of each one on the decision of Brazilian companies of Project Engineering and Consultancies to deploy the ISO 9001 quality management system and the ISO 14001 environmental management system. For this purpose, design of experiments, the least squares method and the response surface method was used. This research adopted a quantitative approach, with a survey with the fifty-nine largest Brazilian companies of project engineering and consultancy, the research instrument used was a questionnaire made available on the Internet for a period of approximately four months. From the fifty-nine companies contacted have been received sixteen complete questionnaires. The results obtained for ISO 9001 show that linear and quadratic models was adjusted to the system, the factor that most influenced in its implementation was the operational, the benefits obtained was related to the operational and financial factors and the difficulties, to the management of the company. For ISO 14001, the linear model was the most adjusted, the factor that had the greatest influence in its implementation was marketing, the benefits obtained was related mainly to the operational factor and the difficulties observed to the factor management of the company.

Keywords: Standard management systems, project engineering, engineering consultants, ISO 9001, ISO 14001, design of experiments, least squares method, response surfaces method.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores marketing e financeiro.....	16
Figura 2: Curvas de nível: influência conjunta dos fatores marketing e financeiro .....	16
Figura 3: Estimativa de parâmetros usando modelo ortogonal $2^2$ com ponto central.....	18
Figura 4: Estimativa de parâmetros usando modelo ortogonal $2^2$ com ponto central pelo método estrela.....	19
Figura 5: Classificação das empresas por porte.....	34
Figura 6: Classificação das empresas por setor de atuação .....	34
Figura 7: Classificação das empresas por área de atuação .....	35
Figura 8: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores <i>marketing</i> e financeiro.....	39
Figura 9: Curvas de nível: influência conjunta dos fatores <i>marketing</i> e financeiro .....	39
Figura 10: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores <i>marketing</i> e operacional ..	40
Figura 11: Curvas de nível: influência conjunta dos fatores <i>marketing</i> e operacional.....	40
Figura 12: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores financeiro operacional ....	41
Figura 13: Curvas de nível: influência conjunta dos fatores financeiro e operacional.....	41
Figura 14: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores financeiro e marketing....	46
Figura 15: Curvas de nível: influência conjunta dos fatores financeiro e <i>marketing</i> .....	47
Figura 16: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores financeiro e operacional ..	47
Figura 17: Curvas de nível: influência conjunta dos fatores financeiro e operacional.....	48
Figura 18: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores <i>marketing</i> e operacional ..	48
Figura 19: Curvas de nível: influência conjunta dos fatores financeiro e <i>marketing</i> .....	49
Figura 20: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores gestão da empresa e colaboradores.....	53
Figura 21: Curvas de nível: influência conjunta dos fatores gestão da empresa e colaboradores .....	54
Figura 22: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores <i>marketing</i> e financeiro.....	59
Figura 23: Curvas de nível: influência conjunta dos fatores <i>marketing</i> e financeiro .....	59
Figura 24: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores <i>marketing</i> e operacional ..	60
Figura 25: Curvas de nível: influência conjunta do fator <i>marketing</i> e do fator operacional ....	60
Figura 26: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores financeiro e operacional ..	61
Figura 27: Curvas de nível: influência conjunta dos fatores financeiro e operacional.....	61
Figura 28: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores financeiro e <i>marketing</i> ....	66
Figura 29: Curvas de nível: influência conjunta dos fatores financeiro e <i>marketing</i> .....	66

Figura 30: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores <i>marketing</i> e operacional ..	67
Figura 31: Curvas de nível: influência conjunta dos fatores <i>marketing</i> e operacional .....	67
Figura 32: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores financeiro e operacional ..	68
Figura 33: Curvas de nível: influência conjunta dos fatores financeiro e operacional.....	68
Figura 34: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores gestão da empresa e colaboradores.....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Análise da variância de um modelo linear.....	22
Tabela 2: Sistemas de gestão normalizados implantados.....	26
Tabela 3: Formação acadêmica dos respondentes.....	32
Tabela 4: Função dos respondentes na empresa.....	32
Tabela 5: Experiência dos respondentes na área.....	32
Tabela 6: Perfil das empresas pesquisadas.....	33
Tabela 7: Escala de classificação das respostas: motivos para implantação da ISO 9001.....	36
Tabela 8: Determinação dos efeitos: motivos para a implantação da ISO 9001.....	37
Tabela 9: Matriz de planejamento fatorial: motivos para implantação da ISO 9001.....	37
Tabela 10: Análise da variância do modelo M9001.....	38
Tabela 11: Escala de classificação das respostas: benefícios obtidos pela ISO 9001.....	42
Tabela 12: Determinação dos efeitos: benefícios obtidos pela ISO 9001.....	44
Tabela 13: Matriz de planejamento fatorial: benefícios obtidos pela ISO 9001.....	44
Tabela 14: Análise da variância do modelo B9001.....	46
Tabela 15: Escala de classificação das respostas: dificuldades na implantação da ISO 9001.....	50
Tabela 16: Determinação dos efeitos: dificuldades na implantação da ISO 9001.....	51
Tabela 17: Matriz de planejamento fatorial: dificuldades na implantação da ISO 9001.....	51
Tabela 18: Análise da variância do modelo D9001.....	53
Tabela 19: Escala de classificação das respostas: motivos para implantação da ISO 14001.....	55
Tabela 20: Determinação dos efeitos: motivos para a implantação da ISO 14001.....	56
Tabela 21: Matriz de planejamento fatorial: motivos para implantação da ISO 14001.....	56
Tabela 22: Análise da variância do modelo M14001.....	58
Tabela 23: Escala de classificação das respostas: benefícios obtidos pela ISO 14001.....	62
Tabela 24: Determinação dos efeitos: benefícios da implantação da ISO 14001.....	63
Tabela 25: Matriz de planejamento fatorial: benefícios obtidos pela ISO 14001.....	64
Tabela 26: Análise da variância do modelo B9001.....	65
Tabela 27: Escala de classificação das respostas: dificuldades na implantação da ISO 14001.....	69
Tabela 28: Determinação dos efeitos: dificuldades na implantação da ISO 14001.....	70
Tabela 29: Matriz de planejamento fatorial – dificuldades na implantação da ISO 14001.....	71
Tabela 30: Análise da variância do modelo D14001.....	72

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Organização do questionário .....	27
Quadro 2: Opções de resposta da escala de Likert .....	28
Quadro 3: Modelos utilizados.....	30
Quadro 4: Questões formuladas: motivos para implantação da ISO 9001 .....	35
Quadro 5: Agrupamento das questões em fatores: motivos para a implantação da ISO 9001 .	36
Quadro 6: Questões formuladas: benefícios obtidos pela ISO 9001 .....	42
Quadro 7: Agrupamento das questões em fatores: benefícios obtidos pela ISO 9001 .....	43
Quadro 8: Questões formuladas: dificuldades na implantação da ISO 9001 .....	50
Quadro 9: Agrupamento das questões em fatores: dificuldades na implantação da ISO 9001	51
Quadro 10: Questões formuladas: motivos para implantação da ISO 14001 .....	55
Quadro 11: Agrupamento das questões em fatores: motivos para a implantação da ISO 14001 .....	56
Quadro 12: Questões formuladas: benefícios obtidos pela ISO 14001 .....	62
Quadro 14: Questões formuladas: dificuldades na implantação da ISO 14001 .....	69
Quadro 15: Agrupamento das questões em fatores: dificuldades na implantação da ISO 14001 .....	70

## ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BSI	British Standards Institution
CNAE	Cadastro Nacional de Atividades Econômicas
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	International Organization for Standardization
KTQ	Kooperation für Transparenz und Qualität im Gesundheitswesen
MMQ	Método dos Mínimos Quadrados
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
NBR	Norma Brasileira
OHSAS	Occupational Health and Safety Assessment Series
PDCA	Ciclo da Melhoria Contínua ( <i>Plan, Do, Check and Act</i> )
PMBok	Project Management Body of Knowledge
PMI	Project Management Institute
RSM	Response Surface Methodology
SG	Sistema de Gestão
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
SGN	Sistema de Gestão Normalizado
SGQ	Sistema de Gestão de Qualidade
SGSST	Sistema de Gestão de Saúde e Segurança no Trabalho
SINAENCO	Sindicato Nacional das Empresas de Arquitetura e Engenharia Consultiva

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 QUESTÃO DE PESQUISA .....	2
1.2 OBJETIVOS .....	3
1.2.1 Objetivo geral .....	3
1.2.2 Objetivos específicos .....	3
1.3 JUSTIFICATIVA .....	3
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
2.1 PROJETO .....	5
2.2 SERVIÇOS .....	5
2.3 SERVIÇOS DE ENGENHARIA DE PROJETO .....	6
2.4 SISTEMAS DE GESTÃO NORMALIZADOS .....	7
2.4.1 Sistemas de gestão da qualidade ISO 9001 .....	7
2.4.2 Sistemas de gestão ambiental ISO 14001 .....	10
2.5 USO DE MODELOS EM ESTUDOS SOBRE EMPRESAS CERTIFICADAS ISO .....	13
2.6 MÉTODO DE SUPERFÍCIES DE RESPOSTA .....	15
2.6.1 Planejamento fatorial .....	17
2.6.2 Método dos mínimos quadrados .....	19
2.6.3 Análise da variância .....	22
2.7 APLICAÇÕES DO RSM EM ENGENHARIA .....	23
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>25</b>
3.1 MATERIAIS .....	25
3.2 MÉTODOS .....	25
3.3 DEFINIÇÃO DA POPULAÇÃO E DA AMOSTRA .....	26
3.4 INSTRUMENTO DE PESQUISA .....	27
3.5 CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DOS DADOS .....	28
3.6 AVALIAÇÃO DA ESCALA DE CLASSIFICAÇÃO .....	29
3.7 MÉTODO DAS SUPERFÍCIES DE RESPOSTA .....	30
3.7.1 Estratégia de planejamento dos experimentos .....	30
3.7.2 Planejamento fatorial .....	30
3.7.3 Modelagem do sistema estudado .....	30
3.7.4 Avaliação do modelo .....	31

3.7.5 Análise da superfície de resposta.....	31
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>32</b>
4.1 PERFIL DOS RESPONDENTES .....	32
4.2 PERFIL DAS EMPRESAS .....	32
4.3 MODELAGEM DOS SISTEMAS DE GESTÃO DA QUALIDADE ISO 9001 .....	35
4.3.1 Estratégia de planejamento: motivos para a implantação da ISO 9001 .....	35
4.3.2 Estratégia de planejamento: benefícios da implantação da ISO 9001.....	42
4.3.3 Estratégia de planejamento: dificuldades na implantação da ISO 9001.....	49
4.4 MODELAGEM DO SISTEMA DA GESTÃO AMBIENTAL ISO 14001 .....	54
4.4.1 Estratégia de planejamento: motivos para a implantação da ISO 14001. ....	54
4.4.2 Estratégia de planejamento: benefícios da implantação da ISO 14001 .....	62
4.4.3 Estratégia de planejamento: dificuldades na implantação da ISO 14001.....	69
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>74</b>
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	75
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>76</b>
<b>APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO .....</b>	<b>82</b>
<b>APÊNDICE B - PUBLICAÇÕES DURANTE O PROGRAMA DE DOUTORADO .....</b>	<b>97</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A prestação de serviços de engenharia por empresas nacionais teve início com escritórios de projeto, construtoras e empreiteiras de obras públicas. Esse setor experimentou grande desenvolvimento a partir do final dos anos 1960. Empresas que no início da expansão do setor siderúrgico, hidroelétrico e petroquímico limitavam-se a executar projetos de detalhamento, a partir dos anos 1970, passaram a oferecer serviços de engenharia conceitual, estudos de viabilidade, engenharia básica e gerenciamento de projetos (FINEP, 2012).

O segmento de engenharia de projeto abrange empresas dedicadas ao desenvolvimento de projetos, de consultoria e de gerenciamento de empreendimentos e obras, em síntese, essas empresas planejam, determinam a viabilidade, projetam, gerenciam e acompanham a posta em marcha de empreendimentos nas mais diversas áreas (SINAENCO, 2017).

Para Alzahrani e Emsley (2013) o fator que diferencia uma empresa que presta serviços de engenharia está diretamente associado a seu histórico de competência medido pela confiabilidade, eficiência, eficácia e qualidade das soluções técnicas propostas anteriormente por seu corpo técnico, portanto, uma empresa bem sucedida é a que tem um portfólio comprovado de projetos realizados dentro do prazo compactuado, com o custo previsto e o nível de qualidade desejada, ou seja, é a que atende às expectativas do cliente e às demandas de grupos com interesses legítimos no sucesso dos projetos (stakeholders) que incluem: a equipe de projeto, funcionários, fornecedores, Estado (como entidade fiscal e reguladora), sindicatos e diversas entidades ou pessoas que se relacionam com a organização.

Pinto, Slevin e English (2009) ressaltaram que as empresas prestadoras de serviço de engenharia de projeto passaram a adotar sistemas de gestão normalizados para reforçar a confiabilidade, eficiência e a qualidade das soluções técnicas apresentadas a seus clientes.

Segundo Karapetrovic (2003) a noção inicial de qualidade, ou seja, a capacidade de satisfazer as necessidades e expectativas do cliente evoluiu para a capacidade de satisfazer as necessidades e expectativas das partes interessadas. O foco na satisfação do cliente, que foi a principal noção da garantia de qualidade tradicional deixou de ser suficiente, portanto, além do cliente, as empresas passaram a atender as necessidades de sua comunidade (eliminar a poluição da água), de seus empregados (reduzir os riscos ocupacionais), dos investidores (não se envolver em práticas contábeis questionáveis), da sociedade (não utilizar mão de obra infantil ou trabalho forçado), etc.

Segundo o citado autor, a necessidade de atender a essa diversidade de partes interessadas incentivou a criação de Sistemas de Gestão Normalizados (SGNs) específicos: o Sistema de



Gestão Ambiental (SGA), o Sistema de Gestão da Saúde e Segurança no Trabalho (SGSST), o Sistema de Responsabilidade Social (SGRS) entre outros.

No final de 2016, o SGQ ISO 9001 era adotado em 193 países com 1.106.536 certificações ativas e o SGA ISO 14001, era utilizado em 187 países com 341.189 certificações ativas (ISO, 2017). As normas ISO 9001 e ISO 14001 são utilizadas como parâmetros na implantação dos SGQ e SGA no mundo todo e a certificação pelas mesmas, traz segurança aos negócios realizados entre empresas e às organizações quando qualificam seus fornecedores (SIMON; KARAPETROVIC; CASADESUS, 2012).

Por outro lado, em situações de recessão econômica a certificação dos sistemas de gestão é uma forma eficaz das organizações demonstrarem a seus clientes a confiabilidade de sua gestão e o tratamento que dispensam às questões relacionadas à qualidade, ao meio ambiente e à saúde e segurança de seus colaboradores (SALOMONE, 2008).

Observa-se também que as empresas de engenharia de projeto passaram a adotar SGNs como forma de demonstrar a confiabilidade das soluções adotadas por seu corpo técnico e que, em situações econômicas como a que passa o Brasil atualmente, a certificação dos sistemas de gestão implantados é uma maneira eficaz de externarem a fiabilidade de seus sistemas de gestão (SALOMONE, 2008)

Del Castillo-Peces et al. (2018), Keng e Kamal (2016) e Maekawa, Carvalho e Oliveira (2013) relacionam os motivos aos benefícios obtidos pela certificação e os classificam em internos, quando relacionados a melhoria da organização e externos quando relacionados ao *marketing*, pressão dos clientes e participação no mercado.

Já Carmona-Calvo et al. (2016), Casadesús e Karapetrovic (2005) e Depexe e Paladini (2012) consideraram fatores operacionais, financeiros e os relacionados ao *marketing* (comerciais) como os principais motivos para a implantação e certificação dos sistemas de gestão da qualidade.

## 1.1 QUESTÃO DE PESQUISA

Este trabalho se propôs a investigar as seguintes questões:

1. Quais os principais motivos que influenciam as empresas brasileiras de engenharia de projeto a implantar e certificar os sistemas de gestão ISO 9001 e ISO 14001?
2. Quais os principais benefícios obtidos pela implantação e certificação desses sistemas?
3. Quais as maiores dificuldades observadas quando da implantação e certificação dos citados sistemas de gestão?

Estabelecidos os motivos, os benefícios e as dificuldades, é possível analisá-los e integrá-los em um modelo matemático que indique a importância de cada um sobre a decisão das empresas brasileiras de engenharia de projeto de implantar os citados sistemas de gestão.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo geral**

O objetivo deste trabalho é o de modelar matematicamente os fatores que motivaram, beneficiaram e dificultaram a implantação dos sistemas de gestão ISO 9001 e ISO 14001 em empresas de engenharia de projetos utilizando planejamento fatorial, o método dos mínimos quadrados e o método de superfícies de resposta.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Coletar dados sobre os sistemas de gestão utilizados em empresas brasileiras de engenharia de projeto;
- Avaliar a validade e confiabilidade dos dados obtidos;
- Desenvolver modelos utilizando planejamento fatorial e o método dos mínimos quadrados;
- Fazer ajustes nos modelos;
- Interpretar os resultados via análise das superfícies de resposta.

## **1.3 JUSTIFICATIVA**

A comunidade acadêmica tem demonstrado grande interesse em estudar os motivos, benefícios e dificuldades observados quando da implantação de sistemas de gestão normalizados:

- Javorcik e Sawada (2018) estudaram os impactos da certificação ISO 9001 no desempenho de empresas de diversos ramos de atuação na Eslovênia;
- Del Castillo-Peces et al. (2018) em uma pesquisa com 302 empresas que atuam no ramo da construção civil na Espanha, analisaram os motivos e os benefícios obtidos com a implantação da ISO 9001;
- Bounabri et al. (2018) estudaram as barreiras encontradas por 94 empresas de diferentes áreas de atuação no Marrocos durante a implantação da ISO 9001;
- Murmura et al. (2018) em uma pesquisa com 190 empresas italianas de vários setores de atividade avaliou os motivos, benefícios e dificuldades na implantação da ISO 14001;
- Santos e Aguiar (2019) estudaram a relação entre os motivos para a implantação da ISO 14001 e a atuação das empresas no comércio internacional;

- Mazzi et al. (2016) em uma pesquisa que envolveu aproximadamente 2400 empresas italianas, identificou os principais benefícios e dificuldades encontrados na implantação da ISO 14001;
- Heras-Saizarbitoria et al. (2011) analisaram em 214 empresas instaladas no País Basco, Espanha, a relação existente entre os motivos e os benefícios obtidos pela implantação da ISO 14001.

Observa-se que apesar da significativa quantidade de artigos que estudaram a instalação e certificação de SGQs e de SGAs, não se encontrou trabalhos que estudassem a implantação de sistemas de gestão normalizados em empresas de engenharia de projeto.

Já autores como Castka (2018); Sarkar (2018); Almeida, Pradhan e Muniz Jr (2018); Hikichi, Salgado e Beijo (2017); Lindlbauer, Schreyögg e Winter (2016); Aquino e Melo (2016); Sampaio, Saraiva e Guimarães Rodrigues (2011) utilizaram-se de métodos teóricos para identificar os fatores que levam as organizações a implantar sistemas de gestão normalizados, os benefícios obtidos pela sua implantação e as dificuldades encontradas.

Na área de ciências sociais aplicadas utiliza-se comumente a modelagem com equações estruturais que, quando comparada com a aplicação conjunta do planejamento fatorial e da modelagem por mínimos quadrados, apresenta a desvantagem de exigir amostras maiores que 100 elementos (HAIR; ANDERSON; TATHAM, 2009; CAMPANA; TAVARES; SILVA, 2009; FARIAS; SANTOS, 2000).

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 PROJETO**

Kerzner (2002) e Dinsmore e Silveira Neto (2004) definem projeto como um esforço temporário realizado para criar um produto ou serviço único, diferente de alguma maneira de todos os outros produtos e serviços oferecidos pela organização. Os citados autores observam que projetos têm início e fim definidos, utilizam recursos, são dirigidos por pessoas e obedecem a parâmetros de custo, tempo e qualidade.

Para o *Project Management Institute* (PMI) projeto (*project*) é um esforço temporário voltado à realização de um único produto, serviço ou resultado. Sua natureza temporária indica que têm um começo e um fim, diferenciando-se de uma operação contínua em que um processo é repetido várias vezes para obter-se o mesmo resultado (PMI, 2013).

Os autores supracitados entendem que um projeto difere dos serviços repetitivos e das operações contínuas de produção por seu caráter único e temporário, não repetitivo e descontínuo, portanto, não contempla o estudo dos aspectos de projetos quando estes são a principal atividade das empresas.

Segundo Cova, Ghauri e Salle (2002) projeto é uma transação complexa que agrega um pacote de produtos e serviços especialmente elaborados, com o fim de criar soluções que produzam benefícios a um comprador durante um determinado período. Estes autores, ao reconhecerem que um projeto é executado para criar valor ou benefícios a um comprador, reconhecem a existência de um vendedor, a empresa que executa o projeto. Ao ressaltarem que o propósito do projeto do ponto de vista da empresa que o executa é criar benefícios para uma organização compradora, reconhecem que seu sucesso pode ser medido não só pela eficiência na criação de resultados, mas também, pela quantificação dos benefícios gerados em comparação com os benefícios esperados.

### **2.2 SERVIÇOS**

Padilha (2012) considera que as principais características do setor de serviços são elementos essenciais ao estudo das empresas de engenharia de projeto pois determinam, de forma direta ou indireta, as abordagens e estratégias de gestão que podem ou não ser aplicadas. O mesmo autor também observa que Clark (1957) foi o primeiro autor a utilizar o termo “serviços” em estudos sobre mercado. Até essa época o mercado de serviços era tratado como setor terciário para diferenciá-lo do setor primário, agricultura e mineração e do setor secundário, manufatura.

Rathmel (1974) define serviço como um produto intangível que não se pega, não se cheira, não se apalpa, não se experimenta antes da compra, mas que permite satisfazer as necessidades dos clientes.

Já Bloom, Kotler e Hayes (2002) definem serviço como qualquer atividade ou benefício essencialmente intangível, que uma parte possa oferecer a outra e que não resulte na propriedade de qualquer coisa. Os mesmos autores também observam que o critério de satisfação do cliente, ao adquirir uma mercadoria ou um serviço não é o mesmo, mercadorias são produzidas para serem consumidas posteriormente, já os serviços são produzidos e consumidos simultaneamente, o comprador não tem como testá-los previamente.

Em decorrência dessas características, para reduzir o grau de incerteza na escolha de prestadores de serviços os clientes procuram “sinais de sua qualidade”, tirando conclusões a partir de circunstâncias concretas, ou seja, da credibilidade que o prestador em potencial tem no mercado.

### **2.3 SERVIÇOS DE ENGENHARIA DE PROJETO**

Na opinião de Plonski (1987 apud Padilha, 2012) a quase totalidade das pesquisas realizadas no Brasil que abordam o exercício da engenharia de projeto e da arquitetura, estão muito mais ligadas às questões relativas à construção civil do que à engenharia e arquitetura de projetos propriamente ditas. Muitos trabalhos, reconhecidos e referenciados como sendo relativos às práticas gerenciais da engenharia de projeto e da arquitetura, tratam de práticas gerenciais de empresas de construção civil ou de montagens industriais.

Padilha (2012) ressaltou que empresas de serviços profissionais de engenharia de projeto são frequentemente confundidas na literatura com empresas cujos produtos são “engenheirados”, assim, é comum que as pessoas se refiram às empresas de construção civil ou a empreiteiras de obras públicas como se fossem empresas de engenharia de projeto, o que não é correto, o projeto entra como um insumo nos produtos finais dessas empresas (casas, edifícios, pontes, estradas, etc.), como se fosse uma matéria prima.

Por sua vez, Sabbatini (2011) definiu empresas de engenharia de projeto, como organizações que tem na comercialização da prestação de serviços de engenharia de projeto sua principal fonte de renda e a principal forma de criação de valor para seus clientes.

Para Prado (2014) os serviços prestados por empresas de engenharia de projeto podem ser divididos em:

- Projeto básico ou conceitual, que compreende, mas não se restringe às atividades: estudos iniciais, estudos de engenharia, análise de viabilidade econômica, aquisições e contratações;
- Projeto executivo que pode ser subdividido em: projeto executivo propriamente dito e gerenciamento da construção e montagem do empreendimento.

Segundo o mesmo autor a finalidade de um projeto de engenharia é possibilitar que a execução do empreendimento ocorra com o menor nível de alteração possível, tanto no projeto quanto na escolha dos fornecedores, que caso venha ocorrer, provoca um grande impacto nos custos finais do empreendimento.

Com base nos estudos de Sabbatini (2011), Padilha (2012) e Prado (2014) este trabalho considerou que empresas de engenharia de projeto são organizações dedicadas ao desenvolvimento de projetos de engenharia, a consultoria e ao gerenciamento de obras, tendo nessas atividades sua principal fonte de renda.

## **2.4 SISTEMAS DE GESTÃO NORMALIZADOS**

Apesar das diferentes definições encontradas na literatura, o conceito de sistema está diretamente relacionado às noções de totalidade, inter-relacionamento e organização. A NBR ISO 9000 define sistema como um “conjunto de elementos inter-relacionados ou interativos”, já a Fundação Nacional de Qualidade (FNQ) considera que sistema é um conjunto de elementos com uma finalidade em comum, que se relacionam entre si formando um todo dinâmico (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015a).

Portanto, pode-se considerar que um sistema de gestão é um tipo de sistema formado por requisitos inter-relacionados que atendem a um objetivo associado a uma função do sistema em si, por exemplo, o principal objetivo de um sistema de gestão normalizado (SGN) é o de garantir que os produtos e ou serviços atendam às necessidades dos clientes (RIBEIRO NETO; TAVARES; HOFFMANN, 2012).

Já para Karapetrovic (2003) sistemas de gestão normalizados são sistemas que foram elaborados com base em normas nacionais ou internacionais; fornecem regras, diretrizes ou características mínimas para determinadas atividades ou seus resultados; procurando obter um grau ótimo de ordenação em um dado contexto para que as empresas possam atender às demandas de diversos grupos de interesse.

### **2.4.1 Sistemas de gestão da qualidade ISO 9001**

A ISO 9001:2015 é uma norma mundialmente aceita e representa o consenso internacional a respeito de um sistema de gestão da qualidade (SGQ). É uma norma certificável que sugere

uma abordagem por processos baseados na metodologia *Plan, Do, Check and Act* (PDCA) para promover a melhoria contínua (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b).

De acordo com Cândido, Coelho e Peixinho (2016) a série ISO 9000 foi desenvolvida pela *International Organization for Standardization* (ISO) com a finalidade de facilitar o comércio internacional e auxiliar as empresas, independentemente da dimensão e do setor de atuação, a desenvolver um sistema de gestão da qualidade eficaz e eficiente, aumentando sua capacidade de projetar, produzir e oferecer produtos e serviços de qualidade. O principal objetivo de um SGQ é garantir que a qualidade dos produtos e serviços atenda às necessidades e expectativas de clientes, da comunidade em que atua e dos grupos de interesse (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b).

Segundo Marimon, Casadesús e Heras (2010) as empresas podem implantar um SGQ sem certificá-lo, porém, a maioria opta por ter seu sistema de gestão da qualidade certificado devido à noção que a auditoria por uma entidade externa agrega maior valor à empresa.

A ISO 9001 é uma norma de processo e não de produto e, embora os processos afetem o produto, a certificação do sistema de gestão de qualidade não equivale à certificação da qualidade de seus produtos (RIBEIRO NETO; TAVARES; HOFFMANN, 2012).

Vários artigos foram publicados sobre os motivos que levam as empresas a implantar e a certificar a ISO 9001, os benefícios obtidos e as dificuldades encontradas, dentre eles selecionou-se os seguintes:

Javorcik e Sawada (2018) estudaram os benefícios da certificação ISO 9001 em empresas de diversos ramos de atuação na Eslovênia no período de 1987 a 2006 verificando que ocorreu:

- Aumento no desempenho operacional e financeiro;
- Aumento das vendas;
- Aumento das exportações;
- Maior produtividade no trabalho;
- Aumento dos salários e
- Aumento da rentabilidade da empresa.

Del Castillo-Peces et al. (2018) em uma pesquisa com 302 empresas de construção civil na Espanha relacionaram os motivos aos benefícios obtidos com a implantação da ISO 9001 destacando os seguintes:

- Melhor uso dos recursos disponíveis;
- Redução dos custos de inspeção;

- Redução de absenteísmo;
- Redução de custos de produção;
- Maior motivação dos empregados;
- Acesso a novos mercados;
- Melhor imagem da empresa;
- Acesso a incentivos governamentais;
- Melhoria dos processos produtivos e
- Maior competitividade da empresa.

Carmona-Calvo et al. (2016) em um estudo sobre o nível de implantação da ISO 9001 em 322 empresas de diversos ramos, localizadas no sul da Espanha e norte do Marrocos, sobre os motivos, benefícios e dificuldades encontradas ressaltou os seguintes:

- Motivos:
  - Pressão dos grupos de interesse;
  - Redução de desperdícios;
  - Melhor eficiência da empresa;
  - Melhor comunicação interna;
  - Redução de custos de produção;
  - Marketing;
  - Aumento da participação no mercado;
  - Exigência dos clientes e
  - Exigência legal.
- Benefícios:
  - Menor absenteísmo;
  - Maior confiabilidade das operações;
  - Melhores prazos de entrega;
  - Redução de erros;
  - Redução de custos;
  - Maior satisfação dos clientes;
  - Maior participação no mercado e
  - Aumento das vendas;
- Dificuldades
  - Falta de compromisso da alta gestão;



- Altos custos de implantação e
- Resistencia da equipe a mudanças.

Os autores supracitados também relacionaram os motivos e benefícios com resultados de natureza financeira, operacional e comercial.

Bounabri et al. (2018) como resultado de uma pesquisa com 94 empresas diversas do Marrocos identificou as seguintes dificuldades na implantação da ISO 9001:

- Baixo compromisso da alta gestão;
- Excesso de burocracia;
- Resistência da equipe a mudanças e
- Falta de treinamento da equipe responsável pela implantação.

Keng e Kamal (2016) em um estudo de casos sobre a implantação da ISO 9001 em cinco empresas construtoras da Malásia identificou os seguintes benefícios e dificuldades:

- Benefícios:
  - Maior confiabilidade das empresas;
  - Maior satisfação dos clientes e
  - Redução de custos.
- Dificuldades:
  - Resistência a mudanças;
  - Baixo compromisso da alta gestão;
  - Excesso de burocracia;
  - Falta de treinamento da equipe;
  - Alto custo da implantação e
  - Falta de recursos.

#### **2.4.2 Sistemas de gestão ambiental ISO 14001**

A crescente concorrência pressiona as empresas a manterem-se constantemente atualizadas para diferenciarem-se técnica e administrativamente de seus concorrentes e permanecerem competitivas no mercado.

Segundo Oliveira, Serra e Salgado (2010) os problemas ambientais tornaram-se cada vez mais relevantes em consequência da conscientização do consumidor e de seu crescente interesse em saber como os produtos e serviços são produzidos, utilizados, descartados e como afetam o meio ambiente. Ainda, segundo os mesmos autores essa constatação levou as empresas a adotarem práticas de produção mais limpa e a ter sistemas de gestão ambiental certificados por entidades reconhecidas internacionalmente.

A primeira edição dessa norma foi publicada em 1996 pela *International Organization for Standardization*, utilizando como referência a BS 7750, *Specification for Environmental Management Systems* e os requisitos estabelecidos pelo EMAS, *Eco Management and Audit Scheme*. A versão brasileira dessa série de normas foi publicada pela ABNT em 1996 (RIBEIRO NETO; TAVARES; HOFFMANN, 2012).

A ISO 14001 é uma norma aceita internacionalmente que define os requisitos para colocar um sistema da gestão ambiental em vigor. Ela ajuda a melhorar o desempenho das empresas por meio da utilização eficiente dos recursos e da redução da quantidade de resíduos, ganhando assim vantagem competitiva e a confiança das partes interessadas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015c). Ainda de acordo com a ABNT, a sequência e a interação de seus requisitos visam possibilitar que a organização estruture um sistema de gestão alinhado às exigências legais pertinentes e a seus aspectos ambientais significativos. Como a ISO 9001, baseia-se em uma abordagem por processos que utiliza a metodologia PDCA para promover a melhoria contínua (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015c).

Uma significativa quantidade de artigos foi publicada tratando dos motivos que levam as empresas a implantar e certificar a ISO 14001, os benefícios obtidos e as dificuldades encontradas, dentre eles selecionou-se os seguintes:

Tendo como base o estudo *ISO 14001, Continual Improvement Survey 2013*, da *International Organization for Standardization*, Santos e Aguiar (2019) concluíram que existe uma correlação fraca entre os motivos para a implantação da ISO 14001 e a atuação das empresas no comércio internacional.

Murmura et al. (2018) em uma pesquisa com 190 empresas de variadas atividades na Itália identificou os seguintes motivos, benefícios e dificuldades na implantação da ISO 14001:

- Motivos:
  - Requisitos de clientes;
  - Melhor imagem da empresa;
  - Maior segurança dos trabalhadores;
  - Requisitos legais;
  - Garantia de que a empresa opera de forma socialmente responsável;
  - Redução de custos.
- Benefícios:
  - Redução de custos;

- Melhora na imagem da empresa;
- Conformidade com os requisitos legais;
- Melhor relacionamento com clientes e fornecedores;
- Menores riscos de acidentes ambientais e
- Melhor desempenho da gestão da empresa.
- Dificuldades:
  - Custos de implantação;
  - Dificuldades da equipe na aplicação da norma;
  - Resistência dos funcionários e
  - Aumento da complexidade dos procedimentos das empresas.

Mazzi et al. (2016) em uma pesquisa que envolveu aproximadamente 2400 empresas italianas identificou os seguintes benefícios e dificuldades:

- Benefícios:
  - Conformidade com os requisitos legais;
  - Aumento do desempenho operacional;
  - Melhora na gestão de recursos humanos;
  - Maior consciência ambiental dos empregados;
  - Maior participação no mercado;
  - Aumento da competitividade da empresa e
  - Melhor imagem da empresa.
- Dificuldades:
  - Custos de implantação;
  - Baixo envolvimento da alta gestão e
  - Resistência da equipe.

Altin e Altin (2014) como resultado de um estudo que envolveu 26 companhias de diferentes setores na Turquia relacionou os seguintes motivos e benefícios:

- Motivos:
  - Atender aos requisitos dos clientes;
  - Conformidade com os requisitos legais;
  - Aumento da competitividade;
  - Maior participação no mercado;
  - Acesso a mercados internacionais;

- Maior consciência ambiental dos empregados e
- Diminuição dos custos ambientais.
- Benefícios:
  - Melhor relacionamento com clientes;
  - Maior participação no mercado;
  - Acesso a mercados internacionais;
  - Menor custo ambiental e
  - Maior consciência ambiental dos empregados.

Franco e Santana (2015) estudaram a integração dos sistemas normalizado ISO 9001, ISO 14001 e OHSAS 18001 em empresas brasileiras de engenharia consultiva identificando os seguintes, motivos, benefícios e dificuldades:

- Motivos:
  - Decisão estratégica da empresa;
  - Otimização de recursos humanos e
  - Redução da burocracia.
- Benefícios:
  - Simplificação da documentação;
  - Melhoria da cultura da empresa e
  - Estrutura adequada para implantação de novos sistemas.
- Dificuldades:
  - Baixa motivação dos empregados;
  - Treinamento insuficiente da equipe e
  - Falta de colaboração entre os setores envolvidos.

Apesar da variedade de artigos publicados sobre os motivos, benefícios e dificuldades observadas na implantação da ISO 14001 não se encontrou artigos que utilizassem modelos matemáticos, nem seu estudo em empresas brasileiras de engenharia de projeto.

## **2.5 USO DE MODELOS EM ESTUDOS SOBRE EMPRESAS CERTIFICADAS ISO**

Para verificar a influência de diversos fatores sobre a implantação e certificação das normas ISO foram desenvolvidos nas últimas décadas, trabalhos como os relacionados a seguir:

- Castka (2018) em um estudo de caso múltiplo com 15 empresas do ramo industrial da Nova Zelândia certificadas pela ISO 9001, utilizou uma análise qualitativa comparativa e conjuntos *fuzzy*, para testar uma teoria que relaciona características como porte, ano

de certificação, pressão externa e complexidade das operações com as atividades desenvolvidas pelas empresas para manter suas certificações ativas. A análise forneceu nove modelos para explicar a complexidade e a intensidade das intervenções das empresas.

- Sarkar (2018) em um estudo de caso na Índia utilizou o método de Pareto para identificar as causas dos problemas na qualidade do projeto de engenharia do departamento de eletrificação rural certificado pela ISO 9001.
- Almeida, Pradhan e Muniz Jr (2018) em uma pesquisa com 47 empresas fornecedoras de conjuntos de propulsão para a indústria automobilística brasileira, utilizaram o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para identificar e classificar os fatores críticos para o sucesso da implantação da ISO 9001:2015. Os fatores identificados foram: compromisso da alta gestão, comprometimento e treinamento da equipe, definição clara de responsabilidade e autoridade, cultura de qualidade, disponibilidade de recursos, integração entre departamentos, nível de conscientização sobre o significado da ISO 9001 e a confiabilidade do pessoal de qualidade.
- Hikichi, Salgado e Beijo (2017) partindo de dados fornecidos pela ISO, utilizaram o método de Box e Jenkins para ajustar modelos auto regressivos integrados de médias móveis (ARIMA) na previsão do número de certificações da ISO 14001, nos anos de 2016 e 2017 em 13 países das Américas: Argentina, Bolívia, Brasil, Canada, Chile, Colômbia, Costa Rica, Equador, Estados Unidos, México, Peru, Uruguai e Venezuela. Os modelos ARIMA ajustados à série ISO 14001 apresentaram tendência decrescente no número de certificações nas Américas prevendo, respectivamente, 17.467 e 16.805 certificados emitidos nos anos 2016 e 2017
- Lindlbauer, Schreyögg e Winter (2016) partindo de uma amostra de 830 hospitais alemães (273 certificados pela KTQ, 101 pela ISO 9001 e 456 sem nenhuma certificação) utilizaram a técnica de análise por envoltória de dados (DEA) para verificar se houve alteração na eficiência dos hospitais alemães após a certificação ISO 9001. Os resultados indicaram que a eficiência hospitalar foi negativamente relacionada à certificação ISO 9001 e positivamente relacionada à certificação KTQ. Além disso, os coeficientes foram sempre maiores no período entre a primeira certificação e a recertificação.
- Aquino e Melo (2016) em um estudo de caso com uma empresa brasileira do ramo têxtil propuseram um modelo de decisão multicritério baseado no método PROMETHEE II -

GAIA utilizado na seleção de consultorias para implantação e certificação das normas ISO 9001 e ISO 14001. O estudo forneceu uma nova visão sobre a importância da seleção dos serviços de consultoria e certificação ao implementar os sistemas de gestão da qualidade dentro das organizações.

- Sampaio, Saraiva e Guimarães Rodrigues (2011) baseados no trabalho pioneiro de Saraiva e Duarte (2003) propuseram um modelo de regressão multivariada para prever a difusão das certificações ISO 9001 levando em consideração as diferentes realidades geográficas. A pesquisa permitiu analisar a evolução mundial da certificação ISO 9001 e sugerir novos modelos de predição para a difusão da certificação de sistemas de gestão da qualidade em diferentes realidades geográficas.
- Viadiu, Fa e Saizarbitoria (2006) utilizando dados sobre o número de certificações da ISO 9001 e ISO 14001 analisam o processo de difusão mundial das duas normas e propuseram um modelo que representasse esse processo. Os autores concluíram que a difusão de ambos os padrões é muito semelhante tanto em geral como em termos de diferentes setores. Este resultado coincide com determinadas hipóteses formuladas na literatura teórica.

Pode-se notar que não se encontrou na literatura atual modelos que utilizassem o planejamento fatorial, método dos mínimos quadrados e método de superfícies de resposta para verificar a influência de fatores na implantação e certificação das normas ISO 9001 e ISO 14001.

## **2.6 MÉTODO DE SUPERFÍCIES DE RESPOSTA**

O Método de Superfícies de Resposta (*Response Surface Methodology*, RSM) é um conjunto de técnicas matemáticas e estatísticas empregadas na modelagem e análise de problemas nos quais, a resposta obtida depende de várias variáveis e o objetivo final é sua otimização (MONTGOMERY, 2013). Esse método foi introduzido por George Edward Pelham Box no início da década de 1950 e desde então é utilizado com grande sucesso na modelagem de diversos processos industriais (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010).

O RSM consiste na análise de um gráfico em três dimensões que representa o modelo a ser otimizado onde os eixos das abscissas e o das ordenadas são os fatores estudados (variáveis independentes) e o eixo vertical, os valores preditos pela variável resposta (variável dependente). Sua análise é facilitada pelo estudo de suas curvas de nível onde as regiões de maior e menor cota são representadas em diferentes cores. As Figuras 1 e 2 ilustram os citados gráficos.

Figura 1: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores marketing e financeiro

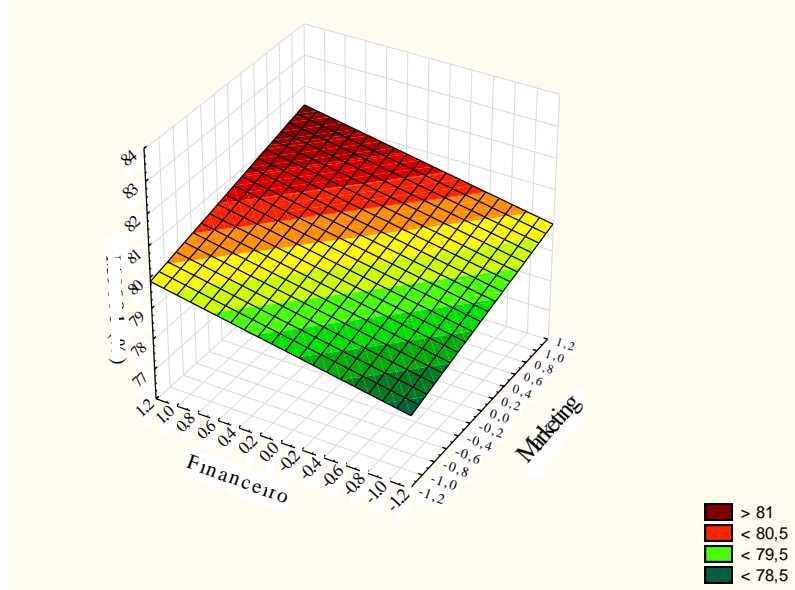
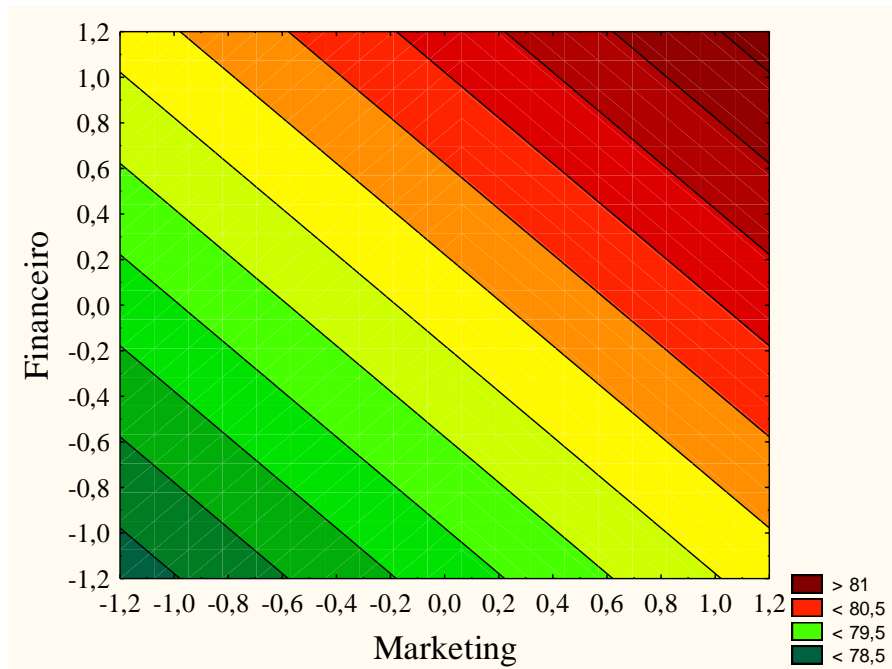


Figura 2: Curvas de nível: influência conjunta dos fatores marketing e financeiro



Segundo Montgomery (2013) na maioria das aplicações o tipo de relacionamento entre a variável dependente, a resposta, e as variáveis independentes, os fatores, é desconhecido, portanto, o primeiro passo da modelagem é o de encontrar uma função que seja uma aproximação aceitável do relacionamento real. Usualmente inicia-se com um polinômio de primeira ordem, se a resposta for bem modelada por uma função linear das variáveis independentes o modelo será uma função de primeira ordem:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (2.1)$$

onde:

$y$  = variável dependente (resposta);

$\beta_0 \dots \beta_k$  = parâmetros do modelo;

$x_1 \dots x_k$  = variáveis independentes e

$\varepsilon$  = erro.

Caso o sistema apresente alguma curvatura, um polinômio de maior grau deve ser utilizado, por exemplo, um modelo de segunda ordem:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_{1i} x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (2.2)$$

Para a estimativa dos parâmetros do modelo utilizou-se o método dos mínimos quadrados. Segundo Montgomery (2013) os parâmetros do modelo podem ser melhor estimados se os dados utilizados forem obtidos com auxílio de um planejamento fatorial.

### 2.6.1 Planejamento fatorial

Planejar experimentos é definir como será feita a coleta dos dados experimentais para que um determinado objetivo seja atingido. A técnica mais utilizada para estudar um sistema e dele extrair os melhores resultados é o delineamento por planejamento fatorial que baseia-se em métodos estatísticos que tornam os experimentos menos repetitivos, promovem a interação entre todas as variáveis, observando não só a influência destas sobre o resultado, mas também a interação entre elas, permitindo assim a obtenção do modelo que mais se ajusta às condições do sistema em estudo (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010).

Para execução de um planejamento fatorial é necessário que seja especificado o número de níveis de variação dos fatores e a quantidade de fatores empregados nos experimentos, por exemplo, um planejamento de dois níveis (inferior e superior) e de  $k$  fatores exigirá a realização de  $2^k$  ensaios distintos, sendo por esse motivo chamado de planejamento fatorial completo  $2^k$  (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010).

Os fatoriais completos fazem combinações entre os efeitos dos fatores de forma a obter-se a menor quantidade possível de ensaios para gerar um bom modelo. Os fatoriais completos mais utilizados são os que utilizam ensaios em triplicata no ponto central (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010; MONTGOMERY, 2013).

Nos planejamentos fatoriais com ponto central os fatores são codificados de forma a obter-se as novas variáveis independentes,  $x_i$ , com variação simétrica de tal forma que os pontos laterais formem uma figura geométrica. Estas variações são chamadas de níveis e normalmente assumem os valores -1, 0 e +1, pela nomenclatura específica desta forma de modelagem, os



efeitos (fatores codificados), são identificados por  $x_1, x_2, \dots, x_n$  (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010; KHURI; CORNELL 1996). Segundo os mesmos autores os valores são codificados pela aplicação da fórmula:

$$x_{1i} = \frac{x_i - \bar{x}}{\Delta x} \text{ onde:} \quad (2.3)$$

$x_{1i}$  = primeiro valor codificado da variável  $x_1$

$x_i$  = elemento a ser codificado

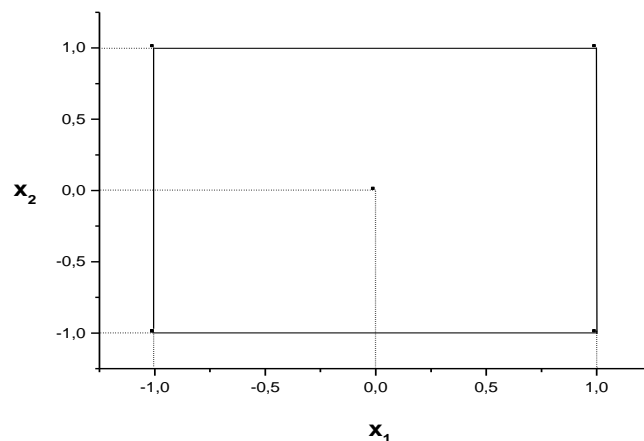
$$\bar{x} = (x_{11} + x_{12} + \dots + x_{1n})/n$$

$$\Delta x = x_n - x_1$$

Com a codificação, cada efeito passa a corresponder sempre à variação de duas unidades do fator correspondente, já que o nível do fator varia de -1 para +1, portanto, para cada unidade de  $x_1$ , os efeitos são a metade dos valores que calculamos com a equação 2.3 (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010; MYERS; MONTGOMERY; ANDERSON-COOK, 2009).

Ao se gerar um gráfico com os fatores em eixos perpendiculares e unir seus pontos, com exceção do ponto central, obtém-se uma figura geométrica. Este tipo de modelagem é chamado de *design* ortogonal, de uso muito comum em planejamento fatorial. Um dos tipos de *design* ortogonal mais utilizado é o do método do ponto central representado pela Figura 3, que apresenta uma forma quadrática de representação gráfica dos pontos do modelo (delineamento  $2^2$ ).

Figura 3: Estimativa de parâmetros usando modelo ortogonal  $2^2$  com ponto central

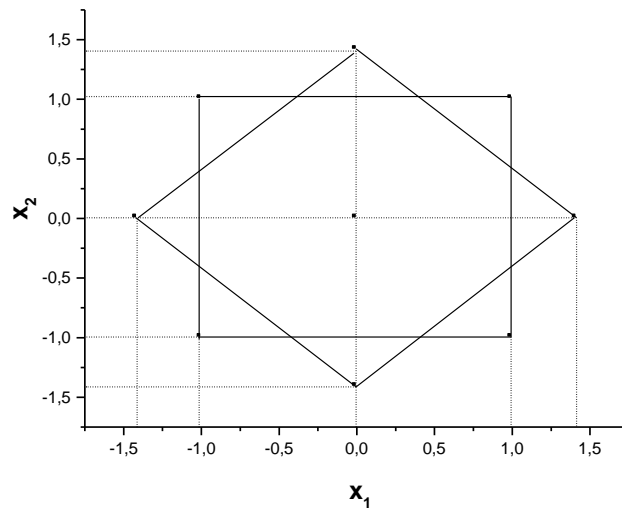


Fonte: Barros Neto, Scarminio e Bruns (2010)

Dependendo do número de ensaios realizados e da quantidade de parâmetros a ser determinada utiliza-se um *design* rotacional que acrescenta os valores  $\pm \alpha$  aos níveis codificados. Segundo Barros Neto, Scarminio e Bruns (2010)  $\alpha = \pm(2^k)^{1/4}$ .

A Figura 4 representa o *design* em forma de estrela com a introdução dos níveis necessários à sua formação:  $-\alpha$  e  $+\alpha$  com as suas devidas codificações segundo a regra citada.

Figura 4: Estimativa de parâmetros usando modelo ortogonal  $2^2$  com ponto central pelo método estrela



Fonte: Barros Neto, Scarminio e Bruns (2010)

Num planejamento  $2^2$  o modelo estatístico indica que a média populacional  $\mu(x_1, x_2)$  pode ser representada pela expressão (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010):

$$\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2$$

Onde:

$\beta_0$  = valor populacional da média de todas as respostas do planejamento;

$\beta_1, \beta_2$  e  $\beta_{12}$  = valores populacionais dos efeitos principais e do efeito da interação por unidade de  $x_1$  e  $x_2$ .

Os valores  $b_0, b_1, b_2$  e  $b_{12}$  são chamados de estimadores dos parâmetros populacionais  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  e  $\beta_{12}$ .

### 2.6.2 Método dos mínimos quadrados

É o método mais utilizado na atualidade para modelar sistemas, baseia-se em critérios matemáticos rigorosos para estimar os coeficientes do modelo a partir dos dados experimentais (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010; MONTGOMERY, 2013).

Segundo os autores supracitados para cada ponto “ $p$ ” conhecido pode-se definir um erro  $\varepsilon$  como a diferença entre as observações  $Y_j$ , e prever a resposta do modelo  $y_j(x)$ .

$$Y - y_j = \varepsilon \text{ onde } j = 1, 2, 3, \dots, p \quad (2.4)$$

As variáveis independentes representadas pelo vetor  $x$  podem ser variáveis distintas ou diferentes funções da mesma variável como:  $x, x^2, x^3$ , etc.

Assume-se que as variáveis independentes são conhecidas exatamente, com um erro mínimo envolvido em cada valor de  $x$ , substancialmente baixo comparado com aquele envolvido em  $Y$ , portanto, assumindo que  $f_1$  é uma função somatória do erro absoluto tem-se:

$$f_1 = \sum_{j=1}^p |\varepsilon_j| \quad (2.5)$$

ou

$$f_2 = \sum_{j=1}^p \varepsilon_j^2 \quad (2.6)$$

$$\text{Para um modelo linear: } y = \beta_0 + \beta_1 x \quad (2.7)$$

pode-se mostrar o princípio de estimativa dos coeficientes pelo método dos mínimos quadrados substituindo-se (2.2) e (2.5) em (2.6):

$$f_2 = \sum_{j=1}^p (Y_j - y_j)^2 = \sum_{j=1}^p (Y_j - \beta_0 - \beta_1 x_j)^2 \quad (2.8)$$

A equação (2.) tem dois coeficientes desconhecidos,  $\beta_0$  e  $\beta_1$  e,  $p$  pares de valores experimentais de  $Y_j$  e  $x_j$ .

Igualando as primeiras derivadas parciais de  $f_2$  a zero tem-se os valores para o mínimo da função:

$$\frac{\delta f_2}{\delta \beta_0} = 0 = 2 \sum_{j=1}^p (Y_j - \beta_0 - \beta_1 x_j)(-1) \quad (2.8a)$$

$$\frac{\delta f_2}{\delta \beta_1} = 0 = 2 \sum_{j=1}^p (Y_j - \beta_0 - \beta_1 x_j)(-x_j) \quad (2.8b)$$

Sendo  $b_0$  e  $b_1$  os valores estimados dos coeficientes  $\beta_0$  e  $\beta_1$  obtem-se as soluções das equações. Rearranjando os resultados em função das variáveis conhecidas  $b_0$  e  $b_1$  para as equações lineares:

$$\sum_{j=1}^p b_0 + \sum_{j=1}^p b_1 x_j = \sum_{j=1}^p Y_j \quad (2.9a)$$

$$\sum_{j=1}^p b_0 x_j + \sum_{j=1}^p b_1 x_j^2 = \sum_{j=1}^p x_j Y_j \quad (2.9b)$$

O termo  $\sum_{j=1}^p b_0 = p(b_0)$ , e, nos outros somatórios as constantes  $b_0$  e  $b_1$  podem ser removidas, portanto, as equações (2.9a) e (2.9b) serão:

$$b_0(p) + b_1 \sum_{j=1}^p x_j = \sum_{j=1}^p Y_j \quad (2.10a)$$

$$b_0 \sum_{j=1}^p x_j + b_1 \sum_{j=1}^p x_j^2 = \sum_{j=1}^p x_j Y_j \quad (2.10b)$$

Com duas equações com duas incógnitas pode-se resolver o sistema acima com a previsão dos valores experimentais de  $y$ , utilizando a equação  $Y = b_0 + b_1 x$  para calcular o valor de  $Y$ .

De maneira análoga à análise linear efetuada, pode-se encontrar a equação para uma função de potência qualquer, bastando para isso substituir a equação dos erros quadráticos (2.6) na equação desejada e proceder da mesma maneira que foi feita para a linear.

$$y = \sum_{i=0}^p \beta_i x_i \quad x_0 = 0 \quad (2.11)$$

Na equação (2.11)  $x_0$  é uma constante, portanto, apresenta somente uma intersecção tendo  $n$  variáveis independentes  $x_i$  com  $i = 1, 2, \dots, n$  como meios controláveis e ajustáveis. A equação é linear com  $\beta_i$  pode não ser linear com  $x_i$ , contudo, os valores destas últimas variáveis, como são previamente conhecidos, não são objetos de interesse, pois não interferirão ao serem substituídos na equação do modelo, já que utilizamos  $b_i$  para prever os valores  $\beta_i$  e estes valores são lineares com a variável dependente.

Tomando-se como exemplo o modelo para função quadrática:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 \quad (2.12)$$

Onde

$$x_0 = 1;$$

$$x_1 = x \text{ e}$$

$$x_2 = x^2,$$

ao introduzir-se a equação (2.11) na equação (2.4) têm-se:

$$f_2 = \sum_{j=0}^p (Y_j - y_j)^2 = \sum_{j=0}^p (Y_j - \sum_{i=0}^n \beta_i x_{ij})^2 \quad (2.13)$$

As variáveis independentes agora são as designadas por um par de índices subscritos onde o primeiro e o segundo indicam respectivamente a designação (o tipo) da variável independente e a sequência de  $p$  pontos conhecidos  $j = 1, 2, \dots, n$ .

Igualando as  $n + 1$  derivadas parciais de  $f_2$  com relação aos respectivos  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$  a zero obtemos  $n + 1$  equações em  $n + 1$  valores de coeficientes estimados  $b_0, b_1, \dots, b_n$ .

A solução deste sistema pode ser feita naturalmente, em um computador, pela multiplicação das matrizes e vetores gerados pelos dados do planejamento ( $x$ ) e pelos dados experimentais ( $Y$ ):

$$b = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ b_{n-1} \\ b_n \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ Y_{p-1} \\ Y_p \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{1n} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & x_{p1} & x_{p2} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{pn} \end{bmatrix}$$

A resolução dos sistemas acima descritos pode ser expressa na forma matricial/ vetorial, como sendo:

$$X^T * X * b = X^T * Y$$

Ou em termos dos coeficientes desconhecidos:

$$b = (X^T * X)^{-1} * X^T * Y$$

### 2.6.3 Análise da variância

O exame dos resíduos é fundamental para que se possa avaliar a qualidade do ajuste de qualquer modelo. Em um modelo ideal todas as previsões coincidem com as respostas observadas e não haverá resíduos. O método mais usado para se avaliar numericamente a qualidade do ajuste de um modelo é a Análise da Variância (ANOVA) (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010).

A análise da variância é feita por parâmetros estatísticos baseados na distribuição normal. A avaliação dos erros dos coeficientes do ajuste e da significância do modelo é feita através da comparação dos dados experimentais com os calculados. Os resultados são expressos na forma da Tabela 1, que apresenta as fontes de variação nas formas quadráticas e médias, que facilitam o cálculo das porcentagens de variações explicáveis do coeficiente de determinação, e os testes F, que indicam a significância e o ajuste do modelo (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010).

Tabela 1: Análise da variância de um modelo linear

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática
Regressão	$SQ_R = \sum_i^m \sum_j^{n_i} (\hat{y}_j - \bar{y})^2$	p - 1	$MQ_R = SQ_R / (p - 1)$
Resíduos	$SQ_r = \sum_i^m \sum_j^{n_i} (y_i - \hat{y}_i)^2$	n - p	$MQ_r = SQ_r / (n - p)$
Falta de Ajuste	$SQ_{faq} = \sum_i^m \sum_j^{n_i} (\hat{y}_i - \bar{y}_i)^2$	m - p	$MQ_{faq} = SQ_{faq} / (m - p)$
Erro Puro	$SQ_{ep} = \sum_i^m \sum_j^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$	n - m	$MQ_{ep} = SQ_{ep} / (n - m)$
Total	$SQ_T = \sum_i^m \sum_j^{n_i} (y_{ij} - \bar{y})^2$	n - 1	

Fonte: De Barros Neto, Scarminio e Bruns (2010)

Onde:

- $y_1$  é o valor da resposta no nível i;
- $\bar{y}$  é a média global das respostas;
- $\bar{y}_1$  é a média das repetições no nível i e

- $\hat{y}$  é o valor previsto desta resposta no nível  $i$ .
- $n_i$  é o número de repetições o nível  $i$ ;
- $n$  o número total de observações ( $\sum n_i$ );
- $m$  o número de níveis distintos e
- $p$  o número de parâmetros do modelo.

As relações  $SQ_R/SQ_T$  e  $(SQ_T - SQ_{ep})/SQ_T$ , são chamadas respectivamente de porcentagem de variação explicável e porcentagem máxima de variação explicável.

A medida da significância do modelo é feita pela relação entre variações médias devido à regressão e devido aos resíduos ( $MQ_R/MQ_r$ ). A primeira mede os desvios quadráticos médios dos valores previstos com relação aos experimentais, enquanto a segunda representa os resíduos deixados pelo modelo por cada nível  $i$  a cada resposta. Já o ajuste dos dados ao modelo é feito pela relação entre as médias quadráticas da falta de ajuste e dos erros puros ( $MQ_{faj}/MQ_{ep}$ ). A primeira estima a adequação dos dados ao modelo, enquanto a segunda estima a variância postulada das observações (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010).

Tanto a  $MQ_{faj}$  quanto a  $MQ_{ep}$  obedecem a uma distribuição normal, portanto, podem ser comparados com valores do teste F em níveis previamente estabelecidos. Para  $MQ_{faj}$ , quanto maior for seu valor comparado ao do F tabelado, mais significativo é o modelo, enquanto o valor de  $MQ_{ep}$  deverá ser menor que o F tabelado para indicar que os dados estão ajustados ao modelo (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010).

## 2.7 APLICAÇÕES DO RSM EM ENGENHARIA

Apesar de não se ter encontrado na literatura atual modelos que utilizassem o método de superfícies de resposta em artigos que abordam a implantação e certificação das normas ISO 9001 e ISO 14001, vários autores utilizaram o citado método em publicações que tratam diferentes áreas da engenharia:

- Klepa et al. (2019) em um artigo sobre o aproveitamento de resíduos da construção civil na fabricação de placas refletoras, utilizaram o método de superfícies de resposta para estudar a influência dos teores de cerâmica e de alvenaria na luminescência dos resíduos utilizados.
- Em um trabalho que trata do processamento a vácuo de brócolis após a colheita, Santana et al. (2018) utilizaram o RSM para otimizar a temperatura de processamento.

- Almeida et al. (2014) num trabalho que aborda a padronização e otimização do vinho de acerola utilizaram o RSM para determinar a melhor combinação dos fatores cor, aroma e sabor.
- Santana, Ehrhardt e Tambourgi (2010) num artigo que aborda a otimização da produção de álcool de mandioca, utilizaram o RSM para estudar o efeito da concentração de amido e da temperatura no biorreator sobre o rendimento da hidrólise.
- Santana et al. (2008) num trabalho que trata da caracterização bioquímica das  $\alpha$ -amilases e  $\beta$ -amilases utilizou o RSM para avaliar os efeitos da concentração de amido e da temperatura, no rendimento da hidrólise.

Como se nota, não se observou a aplicação do método de superfícies de resposta em trabalhos que abordam as normas ISSO, para avaliar a importância dos fatores que influem sobre a implantação e certificação das mesmas em empresas brasileiras de engenharia de projetos.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Após a definição do tema realizou-se uma pesquisa da literatura com o fim de identificar os fundamentos teóricos que justificassem sua escolha. Como ponto de partida buscaram-se nas bases de dados: Periódicos Capes, Scielo, Science Direct, Emerald, Scopus, Taylor & Francis e Google Acadêmico artigos que esclarecessem os termos: *project*, *engineering services*, *project engineering*, *consulting engineering* e *normalized management systems*; quais os tópicos mais estudados e as abordagens mais relevantes. No decorrer da revisão bibliográfica foi possível identificar algumas lacunas a partir das quais foi formulado o objetivo da pesquisa. Na sequência apresenta-se o material utilizado na preparação deste trabalho, os métodos de pesquisa, definem-se os critérios para a seleção da amostra, o instrumento de pesquisa, os critérios utilizados para a análise dos dados e a otimização dos modelos utilizados.

#### 3.1 MATERIAIS

Este trabalho foi preparado em um computador Dell<sup>®</sup>, modelo Inspiron One, equipado com um processador Intel<sup>®</sup> Core I5 2400S, 6,0 GB de memória RAM e com sistema operacional Windows<sup>®</sup> 10 Pro de 64 bits. Foram utilizados os seguintes programas:

- Microsoft Office<sup>®</sup> 2010;
- Minitab<sup>®</sup> 16.1 fornecido pela Minitab Inc;
- Scilab<sup>®</sup> 6.0.1 for Windows fornecido pela ESI Group e
- Statistica<sup>®</sup> 10 for Windows fornecido pela StatSoft Inc.

#### 3.2 MÉTODOS

Quanto à natureza esta pesquisa é aplicada, de acordo com Marconi e Lakatos (2010), utiliza-se uma pesquisa aplicada, de campo ou empírica, com o objetivo de conseguir conhecimentos sobre determinado problema, sobre uma hipótese que se queira comprovar, descobrir novos fenômenos ou uma relação entre eles. Como esta pesquisa procurou verificar a influência de determinados fatores sobre a decisão de implantar sistemas de gestão normalizados por empresas de engenharia de projeto, pode ser considerada como aplicada.

Quanto à abordagem é classificada como quantitativa porque ao utilizar uma escala de classificação atribuiu valores numéricos às variáveis e empregou métodos estatísticos no tratamento desses dados. Segundo Martins (2012), uma pesquisa empírica é considerada quantitativa quando suas variáveis são medidas por meio de valores numéricos e empregam métodos matemáticos ou estatísticos para o tratamento de seus dados.



O objetivo da pesquisa é exploratório pois tratou de um tema com carência de informações na literatura (utilização de métodos numéricos no estudo de fatores relacionados à implantação e certificação de sistemas de gestão normalizados por empresas de engenharia de projeto). Uma pesquisa exploratória visa explorar uma área pouco conhecida ou investigar as possibilidades de se realizar uma pesquisa em particular (MARCONI; LAKATOS, 2010).

Quanto ao método é uma pesquisa de avaliação já que avaliou, utilizando um questionário, uma amostra das empresas de engenharia de projeto para extrair conclusões a respeito da utilização de sistemas de gestão normalizados. De acordo com Ho (2012) a pesquisa de avaliação é um método em que o pesquisador avalia uma amostra do problema investigado com o fim de extrair conclusões a seu respeito. É realizada geralmente com a aplicação de um questionário e apoiada por técnicas de amostragem e análise estatística.

### 3.3 DEFINIÇÃO DA POPULAÇÃO E DA AMOSTRA

A população estudada abrangeu as empresas brasileiras de engenharia de projeto e consultoria. Segundo dados do Sindicato Nacional das Empresas de Arquitetura e Engenharia Consultiva (SINAENCO), em 2015 o setor apresentava 61.506 empresas ativas. Desse total 97% eram microempresas e empregavam menos que 20 profissionais, enquanto as que possuíam 20 ou mais profissionais ocupados representavam apenas 3% do total (SINAENCO, 2017). Dada a disparidade estrutural apresentada pelo setor decidiu-se trabalhar com as empresas de maior porte.

Para esse fim, por meio de uma consulta realizada no primeiro semestre de 2017 nos *sites* das 90 empresas de engenharia de projeto e consultoria relacionadas na edição especial Ranking da Engenharia Brasileira: 500 Grandes da Construção, da Revista O Empreiteiro, selecionou-se as 59 empresas que declaravam ter implantado ao menos um sistema de gestão normalizado (RANKING DA ENGENHARIA BRASILEIRA: 500 GRANDES DA CONSTRUÇÃO, 2016). O resultado dessa consulta é resumido na Tabela 2.

Tabela 2: Sistemas de gestão normalizados implantados

Sistemas normalizados implantados	Nº de empresas
Adotam a NBR ISO 9001	24
Adotam NBR ISO 9001 e NBR ISO 14001	35
Não declaram, não utilizam sistemas de gestão, ou não existe informação no site.	31
Total de empresas	90

Para Forza (2002) a amostra acima caracterizada não pode considerada probabilística, é uma amostragem por conveniência. Segundo o citado autor, esse tipo de amostragem apesar de

poupar tempo e facilitar a obtenção dos dados, limita as análises e impede que as conclusões sejam generalizadas para a população.

### 3.4 INSTRUMENTO DE PESQUISA

O instrumento utilizado para a coleta dos dados foi um questionário. De acordo com Marconi e Lakatos (2010) dentre as vantagens do uso de um questionário destacam-se a abrangência de um maior número de respondentes, abrangência de maior área geográfica, economia de tempo e obtenção das respostas de forma rápida e precisa.

O instrumento de pesquisa deste trabalho utilizou para o SGQ e SGA, as mesmas questões do questionário usado na coleta de dados para a dissertação de mestrado do autor, o qual, foi elaborado com base nos artigos de Salomone (2008), Bernardo et al. (2009) e Karapetrovic e Casadesús (2009).

Seu objetivo foi o de obter dados sobre os sistemas de gestão da qualidade e da gestão ambiental implantados pelas empresas brasileiras de engenharia de projeto. O Quadro 1 mostra a organização do mesmo.

Quadro 1: Organização do questionário

Bloco	Descrição
1. Perfil da empresa	Informações gerais sobre a empresa: áreas de atuação, principais clientes, faturamento, número de empregados.
2. Sistemas de gestão	Sistemas de gestão normalizados implantados, data da primeira certificação e auditoria integrada.
3. NBR ISO 9001	Motivos dificuldades e benefícios da implantação da NBR ISO 9001.
4. NBR ISO 14001	Motivos dificuldades e benefícios da implantação da NBR ISO 14001.
5. Perfil do respondente	Formação, cargo, tempo de empresa, tempo no cargo e experiência na área.

O primeiro, segundo e o quinto bloco foram formulados com questões fechadas de múltipla escolha e tiveram a finalidade de obter informações gerais sobre a empresa pesquisada e seus respondentes. Com base nos dados obtidos nesse bloco, as empresas foram classificadas quanto ao porte, principal área de atuação e setor.

As questões formuladas no terceiro e quarto bloco tiveram por fim avaliar os motivos que levaram as empresas a adotar os sistemas de gestão normalizados ISO 9001 e ISO 14001, as dificuldades encontradas quando de sua implantação e os benefícios obtidos. Para esse fim, foi utilizada uma escala Likert de cinco pontos com as opções de respostas variando de um, totalmente desfavorável, a cinco, totalmente favorável. Para a categoria neutra utilizou-se o valor três, como apresentado pelo Quadro 2.

Quadro 2: Opções de resposta da escala de Likert

Valores	Opções
1	Discordo totalmente
2	Discordo parcialmente
3	Indiferente
4	Concordo parcialmente
5	Concordo totalmente

A escala Likert é uma escala escalonada de classificação, na qual, a opinião do entrevistado (respondente) a respeito de um assunto específico, é medida por uma série contínua de valores, que variam de altamente desfavorável a altamente favorável, ou vice-versa, com iguais possibilidades de respostas e uma categoria média ou neutra (REA e PARKER, 2000).

O questionário foi disponibilizado na internet de abril a julho de 2017 pela ferramenta formulários do aplicativo *Google Docs*. As empresas previamente selecionadas foram informadas a respeito do objetivo da pesquisa e convidadas a indicar um profissional do setor de gestão de sistemas da qualidade e meio ambiente para responder às questões (ALMEIDA et al., 2014; MIRANDA et al., 2018).

De acordo com Keusch (2015) as pesquisas realizadas com auxílio da *internet* são cada vez mais utilizadas pelos pesquisadores devido aos menores custos envolvidos, a rapidez de resposta, a capacidade de atingir populações específicas e do pesquisado responder da maneira que lhe for mais conveniente.

### 3.5 CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados obtidos pelo questionário foi dividida em três partes:

- A primeira parte analisou o perfil das empresas e dos respondentes a partir das respostas aos blocos 1, 2 e 5.
- A segunda parte analisou a confiabilidade dos dados obtidos pelos blocos 3 e 4.
- Na terceira parte utilizou-se planejamento fatorial, método dos mínimos quadrados e o método da superfície de resposta para determinar quais fatores influenciaram a decisão das empresas de engenharia de projeto de implantar as normas ISO 9001 e 14001 as dificuldades encontradas e os benefícios obtidos.

Para a análise da primeira parte utilizou-se indicadores da estatística descritiva para resumir e relacionar os dados.

As respostas obtidas pelo terceiro e quarto bloco do questionário foram avaliadas quanto confiabilidade utilizando-se o coeficiente alfa de Cronbach.

As questões consideradas confiáveis foram agrupadas de acordo com fatores financeiros, operacionais e relacionados ao *marketing*, suas respostas codificadas e modeladas pelo método dos mínimos quadrados e ajustadas a modelos lineares, hiperbólicos ou quadráticos obtidos com planejamentos fatoriais completos. Após terem sua significância estatística verificada pela análise da variância, foram analisadas utilizando-se o método de superfícies de resposta.

### 3.6 AVALIAÇÃO DA ESCALA DE CLASSIFICAÇÃO

Uma escala confiável é aquela em que se obtém praticamente a mesma resposta em duas ocasiões diferentes. Uma vez, que na maioria das vezes não é possível fazer com que as pessoas respondam às mesmas questões em duas ocasiões distintas, uma abordagem alternativa é analisar a consistência da resposta de uma determinada pessoa a um item, comparando-a com suas respostas a cada item da escala de classificação. Com esse critério é que foi verificada a confiabilidade de cada conjunto de questões que abordaram os motivos, os benefícios e a dificuldades de cada norma (DE VAUS, 2014).

A ferramenta de maior aceitação no meio acadêmico para medir a confiabilidade de uma escala de classificação é o coeficiente alfa de Cronbach (HORA; MONTEIRO; ARICA, 2010).

De acordo com os citados autores o modelo para estimação desse coeficiente é válido para  $\{\alpha \in R \mid -\infty < \alpha \leq 1 \wedge \alpha \neq 0\}$ , sendo que os valores de alfa negativos e menores que 0,7 devem ser considerados como escalas sem confiança e valores de alfa maiores que 0,7 e menores que 0,95 indicam uma escala confiável.

Heras-Saizarbitoria, Arana Landín e Molina-Azorín (2011), Nunes et al. (2018), Tavakol e Dennick (2011) consideram que valores menores que 0,7 estão relacionados a um número insuficiente de questões, à baixa correlação entre os itens ou a construtos heterogêneos e os maiores que 0,95, podem indicar redundância de alguns itens. Por segurança um valor máximo de 0,9 é recomendado pela maioria dos autores.

O coeficiente  $\alpha$  foi calculado pela equação:

$$\alpha_c = \left( \frac{k}{k-1} \right) \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^k s_i^2}{s_t^2} \right) \quad (3.1)$$

onde:

- $k$ : número de itens do questionário;
- $s_i^2$ : a variância de cada item e
- $s_t^2$ : variância total do questionário determinada como a soma de todas as variâncias.

Para o cálculo do coeficiente alfa de Cronbach e da correlação item total foi utilizado o programa Minitab versão 16.1 para Windows.

### 3.7 MÉTODO DAS SUPERFÍCIES DE RESPOSTA

O método de superfícies de resposta é uma técnica estatística baseada na análise das superfícies geradas por um modelo matemático ou empírico. É utilizado para analisar problemas nos quais a variável resposta é influenciada por vários fatores tendo por objetivo a otimização dessa resposta. A modelagem normalmente é feita ajustando-se modelos simples a respostas obtidas com planejamentos fatoriais (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010; KHURI; CORNELL, 1996)

#### 3.7.1 Estratégia de planejamento dos experimentos

Para maior clareza, os dados considerados válidos e confiáveis obtidos pelos blocos 3 e 4 do questionário foram agrupados nos fatores financeiro, operacional e marketing para os motivos e benefícios da ISO 9001 e ISO 14001, e nos fatores gestão da empresa e colaboradores para as dificuldades observadas na implantação das citadas normas.

#### 3.7.2 Planejamento fatorial

O tipo de planejamento foi escolhido em função do número de fatores analisados, da quantidade de variáveis neles agrupadas e do número de variáveis independentes. Para três fatores analisados: *marketing*, financeiro e operacional e nove questões agrupadas, utilizou-se um planejamento fatorial  $2^3$  com quadruplicata no ponto central que corresponde a 12 ensaios. Para 13 questões agrupadas utilizou-se um planejamento fatorial  $2^3$  rotacional (estrela) com quadruplicata no ponto central que corresponde a 18 ensaios. Todos os fatores foram variados segundo o método do ponto central nos níveis  $-1, 0$  e  $+1$  e  $+\alpha$  e  $-\alpha$  para o planejamento em estrela, de forma a obter-se as variáveis codificadas  $x_1, x_2$  e  $x_3$  como descrito no item 2.5.1.

#### 3.7.3 Modelagem do sistema estudado

Para o cálculo dos parâmetros dos modelos utilizou-se o método dos mínimos quadrados (MMQ). O MMQ é uma técnica matemática que procura encontrar o melhor ajuste para um conjunto de dados, de forma a garantir que a soma dos quadrados das diferenças entre os valores estimados pelo modelo e os valores observados seja mínima (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010; MONTGOMERY, 2013). Para o ajuste utilizaram-se modelos lineares e quadráticos como os apresentados pelo Quadro 3 (SANTANA et al., 2018).

Quadro 3: Modelos utilizados.

Modelo	Equação
Linear	$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j} \sum_{j=1}^k b_{ij} x_i x_j$
Quadrático	$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \sum_{j=1}^k b_{ij} x_i x_j$

Para a determinação dos parâmetros do modelo utilizou-se o programa Scilab versão 6.0.1.

Para o modelo:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{11}x_{11}^2 + b_{22}x_{22}^2 + b_{33}x_{33}^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3$$

onde:

- $Y =$  *variável dependente calculada;*
- $b =$  *parâmetros da equação;*
- $x =$  *variável independente.*

Foi utilizado o seguinte algoritmo:

- Início;
- Crie e armazene os vetores das variáveis independentes codificadas;
- Crie e armazene o vetor da variável dependente experimental  $y$ ;
- Monte a função  $X(x_1, x_2, x_3, \dots, x_k)$ ;
- Faça  $b \rightarrow inv(X' * X) * (X' * y)$ ;
- Calcule o vetor dos parâmetros do modelo;
- Monte  $Y$ ;
- Calcule o vetor da variável dependente;

### 3.7.4 Avaliação do modelo

Para a análise da significância do modelo, do ajuste dos dados, do cálculo do erro puro, da correlação múltipla e da porcentagem da variância explicável utilizou-se o método de análise da variância (ANOVA) como descrito no item 2.5.3.

### 3.7.5 Análise da superfície de resposta.

Os dados provenientes do planejamento fatorial e as respostas previstas pelo modelo ajustado foram inseridos no programa *Statistica*, que gerou as superfícies de resposta utilizando-se da ferramenta *Graphs*  $\rightarrow$  *3D XYZ*  $\rightarrow$  *Surface Plots e Contour Plots* como ilustrado pela Figura 1 e Figura 2

Os gráficos representam a influência dos fatores estudados nas variáveis resposta motivos, benefícios e dificuldades. Como neste estudo procurou-se determinar os fatores de maior influência, verificou-se a que níveis de cada fator corresponde o valor máximo das citadas variáveis resposta. A legenda incorporada às figuras, com as cores variando de verde escuro para valores mínimos a vermelho escuro para valores máximos, auxilia a compreender como a variável resposta varia em função dos níveis dos fatores *marketing*, financeiro, operacional, gestão da empresa e colaboradores (ALMEIDA et al., 2014; KLEPA et al., 2019; SANTANA et al., 2018).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como descrito no item 3.3 foram selecionadas as 59 empresas de projeto e consultoria que informaram ter ao menos o sistema de gestão da qualidade ISO 9001 implantado. Essas empresas foram informadas a respeito do objetivo da pesquisa e convidadas a indicar um profissional da área pesquisada para responder às questões. Foram respondidos 16 questionários considerados válidos, valor que corresponde a uma taxa de retorno de 27%.

### 4.1 PERFIL DOS RESPONDENTES

Os respondentes foram classificados de acordo a formação acadêmica, função na empresa e tempo de experiência na área. A Tabela 3 relaciona os respondentes quanto a formação acadêmica, a Tabela 4 de acordo com a função exercida na empresa e a Tabela 5 relaciona a experiência dos mesmos na área.

Tabela 3: Formação acadêmica dos respondentes

Formação acadêmica	Quantidade	%
Engenharia	9	57
Arquitetura	4	25
Gestão da qualidade	2	12,5
Análise de sistemas	1	5,5

Tabela 4: Função dos respondentes na empresa

Função na empresa	Quantidade	%
Gerente	8	50%
Coordenador	3	19%
Diretor	2	12,5
Supervisor	2	12,5
Consultor	1	6%

Tabela 5: Experiência dos respondentes na área

Experiência na área	Quantidade	%
Entre 2 e 5 anos	6	37 %
Entre 5 e 10 anos	3	19 %
Entre 10 e 20 anos	3	19%
Maior que 20 anos	4	25%

Observa-se que a pesquisa foi respondida principalmente por engenheiros e arquitetos, gerentes e coordenadores que, em sua maioria, possuíam experiência superior a cinco anos na área de projeto e consultoria, fato que evidencia a formação compatível e o significativo nível de conhecimento sobre o tema abordado neste trabalho.

### 4.2 PERFIL DAS EMPRESAS

Todas as empresas que participaram da pesquisa tinham implantados e certificados os sistemas ISO 9001 e ISO 14001.

Para tornar a amostra homogênea e facilitar a interpretação, as organizações foram agrupadas de acordo com:

- O porte: microempresa (ME), empresa de pequeno porte (EPP), de médio porte (EMP) e de grande porte (EGP);
- O mercado de atuação: nacional e internacional;
- O principal setor de atuação: gerenciamento de projetos, projetos de instalações industriais, de infraestrutura e de gestão ambiental e
- Principal área de atuação: óleo e gás, energia, industrial, mineração e metalurgia, química e petroquímica e projeto civil.

Para classificá-las quanto ao porte utilizou-se o critério adotado pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) que utiliza como referência o número de colaboradores (SEBRAE, 2017). A Tabela 6 apresenta o perfil das empresas à época da pesquisa.

Tabela 6: Perfil das empresas pesquisadas

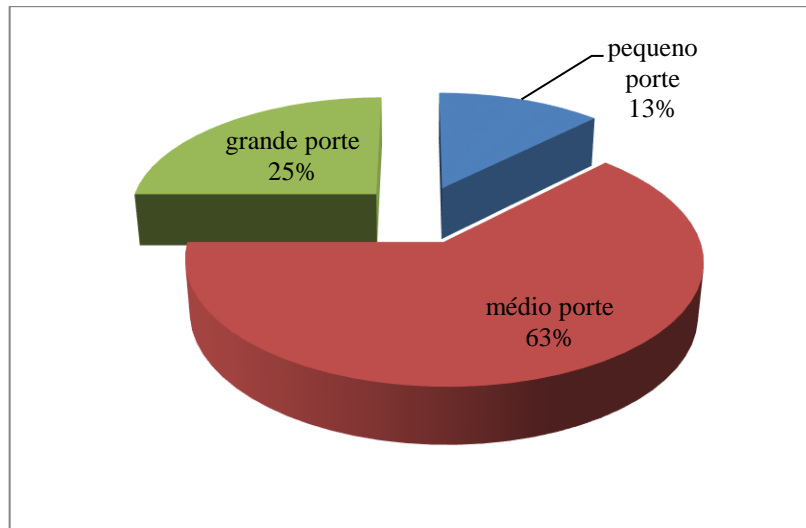
Empresa	Nº de empregados	Porte	Principal setor de atuação	Principal segmento de atuação	Mercado
A	Entre 100 e 499	MP	Projetos de instalações industriais	Industrial	Nacional
B	Entre 100 e 499	MP	Projetos de instalações industriais	Óleo e gás	Internacional
C	Maior que 500	GP	Gestão de projetos	Óleo e gás	Internacional
D	Entre 20 e 99	PP	Gestão de projetos	Energia	Internacional
E	Entre 100 e 499	MP	Gestão de projetos	Energia	Nacional
F	Maior que 500	GP	Gestão de projetos	Mineração e metalurgia	Nacional
G	Maior que 500	GP	Gestão de projetos	Mineração e metalurgia	Internacional
H	Entre 20 e 99	PP	Projetos de instalações industriais	Química e petroquímica	Nacional
I	Maior que 500	GP	Projetos de instalações industriais	Química e petroquímica	Nacional
J	Entre 100 e 499	MP	Projetos de instalações industriais	Industrial	Nacional
K	Entre 100 e 499	MP	Projetos de infraestrutura	Civil	Nacional
L	Entre 100 e 499	MP	Gestão de projetos	Mineração e metalurgia	Internacional
M	Entre 100 e 499	MP	Projetos de instalações industriais	Civil	Nacional
N	Entre 100 e 499	MP	Gestão de projetos	Civil	Nacional
O	Entre 100 e 499	MP	Gestão ambiental	Industrial	Nacional
P	Entre 100 e 499	MP	Projetos de instalações industriais	Óleo e gás	Nacional

Observa-se que:



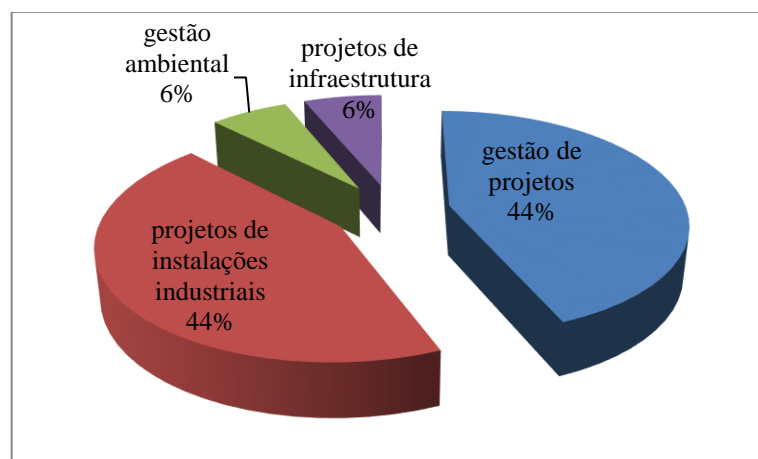
- a) A maioria das empresas participantes da pesquisa tinha médio porte (63%) com um número de empregados entre 100 e 499, seguidas pelas de grande porte (25%), que empregavam mais que 500 empregados e pelas de pequeno porte (13%) que possuíam entre 20 e 99 colaboradores. Nenhuma microempresa respondeu ao questionário. A Figura 5 apresenta essa classificação:

Figura 5: Classificação das empresas por porte



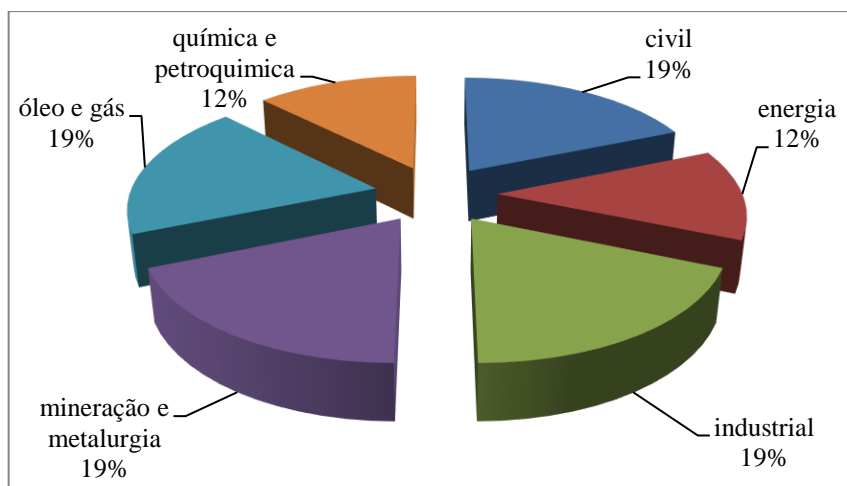
- b) Atuavam principalmente em gestão de projetos (44%), projetos de instalações industriais (44%), gestão ambiental (6%) e projetos de infraestrutura (6%). A Figura 6 apresenta a citada classificação;

Figura 6: Classificação das empresas por setor de atuação



- c) Nas áreas: civil (19%), de energia (12%), industrial (19%), mineração e metalurgia (19%), óleo e gás (19%), e química e petroquímica (12%) como mostra a Figura 7.

Figura 7: Classificação das empresas por área de atuação



### 4.3 MODELAGEM DOS SISTEMAS DE GESTÃO DA QUALIDADE ISO 9001

Esta seção analisa os resultados obtidos pelo questionário quanto aos motivos, benefícios e dificuldades encontrados na implantação da ISO 9001. Os dados do bloco 3 do questionário foram verificados quanto a validade e a confiabilidade das respostas como descrito no item 3.6. A seguir, as respostas consideradas válidas e confiáveis foram analisadas utilizando planejamentos fatoriais, o método dos mínimos quadrados e o método de superfícies de resposta para determinar os motivos que levaram as empresas de engenharia de projeto a implantar o sistema de gestão ISO 9001, os benefícios obtidos e as dificuldades encontradas.

#### 4.3.1 Estratégia de planejamento: motivos para a implantação da ISO 9001

O Quadro 4 apresenta uma síntese das questões formuladas aos responsáveis pelo setor de qualidade das empresas de consultoria e projeto sobre os motivos que influenciaram a implantação e certificação de seus sistemas de gestão da qualidade. Já, da Tabela 7, constam as respostas a cada questão de acordo com a escala Likert adotada.

Quadro 4: Questões formuladas: motivos para implantação da ISO 9001

Questão	Descrição
M1	Atender aos requisitos do cliente
M2	Inserção no mercado internacional
M3	Novas oportunidades de negócio
M4	Imagem da empresa no mercado
M5	Aumento da competitividade da empresa
M6	Visão estratégica da empresa
M7	Marketing
M8	Pressão dos grupos de interesse
M9	Redução de custos

Tabela 7: Escala de classificação das respostas: motivos para implantação da ISO 9001

Empresa	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
A	5	3	4	4	5	3	4	1	5
B	5	4	4	4	4	5	5	4	4
C	1	2	3	4	4	5	4	3	3
D	5	5	5	5	5	5	5	5	5
E	4	3	5	5	4	4	4	5	3
F	4	4	3	4	3	4	4	4	3
G	5	3	5	5	5	5	5	3	4
H	5	3	5	5	4	5	4	3	4
I	4	4	3	4	4	5	4	4	3
J	4	4	5	4	4	4	4	3	4
K	4	4	3	5	4	5	5	4	4
L	4	3	3	4	4	4	4	4	3
M	4	4	5	4	5	4	5	4	4
N	4	4	3	4	4	4	4	4	4
O	4	4	5	4	5	4	4	4	4
P	5	4	4	4	4	5	5	4	4

Antes do planejamento e da modelagem dos dados realizou-se a validação das respostas obtidas usando coeficiente alfa de Cronbach (Eq. 3.1). O valor calculado do coeficiente alfa de Cronbach (Equação 3.1) para as questões M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8 e M9 foi  $\alpha_c = 0,7157$ . Como  $0,7 < \alpha_c < 0,9$ , todas as respostas puderam ser consideradas confiáveis (HERAS-SAIZARBITORIA; ARANA LANDÍN; MOLINA-AZORÍN, 2011; TAVAKOL; DENNICK, 2011).

A seguir, as questões foram agrupadas segundo os fatores: *marketing*, financeiro e operacional como mostra o Quadro 5.

Quadro 5: Agrupamento das questões em fatores: motivos para a implantação da ISO 9001

Questão	Descrição	Fator
M1	Atender aos requisitos do cliente	Marketing
M4	Imagem da empresa no mercado	
M7	Marketing	
M2	Inserção no mercado internacional	Financeiro
M3	Novas oportunidades de negócio	
M9	Redução de custos	
M5	Aumento da competitividade da empresa	Operacional
M6	Visão estratégica da empresa	
M8	Pressão dos grupos de interesse	

Seguindo o procedimento, montou-se o planejamento fatorial. Sendo três os fatores analisados: *marketing*, financeiro e operacional (variáveis independentes) e nove as questões agrupadas: M1 a M9, utilizou-se um planejamento fatorial  $2^3$ , com quadruplicata no ponto central que corresponde a 12 ensaios. Todos os fatores foram variados nos níveis  $-1$ ,  $+1$  e  $0$  de forma a obter-se as variáveis codificadas  $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$ . Para a determinação da variável resposta M9001 foram atribuídos aos níveis  $-1$  e  $+1$  o valor médio das variáveis independentes, e ao nível  $0$ , os

valores de maior frequência como indicado na Tabela 8. Optou-se pelo valor da frequência nos pontos centrais para se obter os desvios e poder calcular o erro puro.

Tabela 8: Determinação dos efeitos: motivos para a implantação da ISO 9001

Fator	Efeito	Nível	Questão	Valor
Marketing	$x_1$	-1	M1	Média
		0	M4	Frequência
		+1	M7	Média
Financeiro	$x_2$	-1	M2	Média
		0	M3	Frequência
		+1	M9	Média
Operacional	$x_3$	-1	M5	Média
		0	M6	Frequência
		+1	M8	Média

A Tabela 9 apresenta a matriz de planejamento fatorial utilizada para estudar a influência dos citados fatores na motivação (variável de resposta M9001) das empresas de engenharia de projeto para implantar e certificar seus sistemas de gestão da qualidade (BARROS NETO, SCARMINIO E BRUNS, 2010). Os valores apresentados nas colunas *marketing*, financeiro e operacional representam a média das respostas obtidas para os efeitos +1 e -1, e os valores de maior frequência para o ponto central, 0, de acordo com a escala Likert utilizada.

Tabela 9: Matriz de planejamento fatorial: motivos para implantação da ISO 9001

n	$x_1$	$x_2$	$x_3$	marketing	financeiro	operacional	M9001 (%)
1	-1	-1	-1	4,19	3,63	4,25	80,4167
2	+1	-1	-1	4,38	3,63	4,25	81,6667
3	-1	+1	-1	4,19	3,81	4,25	81,6667
4	+1	+1	-1	4,38	3,81	4,25	82,9167
5	-1	-1	+1	4,19	3,63	3,69	76,6667
6	+1	-1	+1	4,38	3,63	3,69	77,9167
7	-1	+1	+1	4,19	3,81	3,69	77,9167
8	+1	+1	+1	4,38	3,81	3,69	79,1667
9	0	0	0	4	4	4	80
10	0	0	0	5	3	4	80
11	0	0	0	4	4	4	80
12	0	0	0	5	3	4	80

Para o cálculo dos parâmetros do modelo utilizou-se o método dos mínimos quadrados obtendo-se, com o auxílio do programa Scilab 6.0.1 a equação que melhor ajustou-se aos dados da Tabela 9. O modelo obtido representa a influência conjunta dos fatores *marketing* (M), financeiro (F) e operacional (O) sobre os motivos da implantação e certificação da ISO 9001. As instruções utilizadas no programa foram:

- // Planejamento fatorial
- $x_0 = \text{ones}(12,1)$ ;
- $x_1 = [-1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$ ';

```

- x2 = [-1 -1 1 1 -1 -1 1 1 0 0 0 0]';
- x3 = [-1 -1 -1 -1 1 1 1 1 0 0 0 0]';
- Ye = [80.4167 81.6667 81.6667 82.9167 76.6667 77.9167 77.9167 79.1667 80.0000
80.0000 80.0000 80.0000]';
- // Modelo linear
- X = [x0 x1 x2 x3 x1.*x2 x1.x3 x2.*x3]; // monta matriz de coeficientes de contraste
- b = ((X*X)^-1)*(X*Ye); // calcula parâmetros do modelo
- Yc=b(1,1)+b(2,1)*x1+b(3,1)*x2+b(4,1)*x3; // resposta calculada
- // Respostas
- // b = [79.861 0.625 0.625 -1.875 0 0 0]'
- // Yc = [80.4861 81.7361 81.7361 82.9861 76.7361 77.9861 77.9861 79.2361 79.8611
79.8611 79.8611 79.86113]'

```

Observando os parâmetros da Equação 4.1 verifica-se que o fator operacional exerceu uma influência três vezes superior que aos demais, ou seja, os gerentes das empresas que participaram da pesquisa consideraram que os motivos associados ao fator operacional foram os que mais influíram na decisão das empresas de adotar a ISO 9001.

$$M9001 = 79,861 + 0,625M + 0,625F - 1,875O \quad (4.1)$$

A análise da variância do modelo obtido foi feita pelo método ANOVA. Os dados constantes da Tabela 10 mostram que o modelo possui boa significância estatística pois  $F1_{calc} > F1_{tab}$ . Sendo 99,664 a porcentagem da variância explicável, também pode-se concluir que é pequeno o número de erros e desvios devido a regressão (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010).

Tabela 10: Análise da variância do modelo M9001

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	$F_{calc}$	$F_{tab}$
Regressão	34,375	3	11,458		
Resíduos	0,116	8	0,014	792	4,38
Falta de ajuste	0,116	5	0,023		
Erro Puro	0	3	0		
Total	34,491	11		-	19,30
% da variância explicável				99,664	
% máxima da variância explicável				-	
Coefficiente de determinação				0,9966	

Para a análise pela metodologia das superfícies de resposta utilizaram-se as Figuras 8 a 13 que são as representações gráficas, em três e duas dimensões, do modelo que indica a influência conjunta dos fatores *marketing*, financeiro e operacional na motivação para a implantação e certificação da ISO 9001.

A Figura 8, superfície de resposta (3D) e a Figura 9, curvas de nível (2D), indicam as influências dos fatores *marketing* e financeiro sobre os motivos para a implantação e certificação da ISO 9001. Observando-se a parte vermelha das figuras (80,5%) nota-se que o maior valor da variável resposta M9001 corresponde ao nível +1 de ambos os fatores.

Consultando-se a Tabela 8 e o Quadro 4 verifica-se que o nível +1 corresponde ao motivo M7, *marketing* e ao motivo M9, redução de custos.

Figura 8: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores *marketing* e financeiro

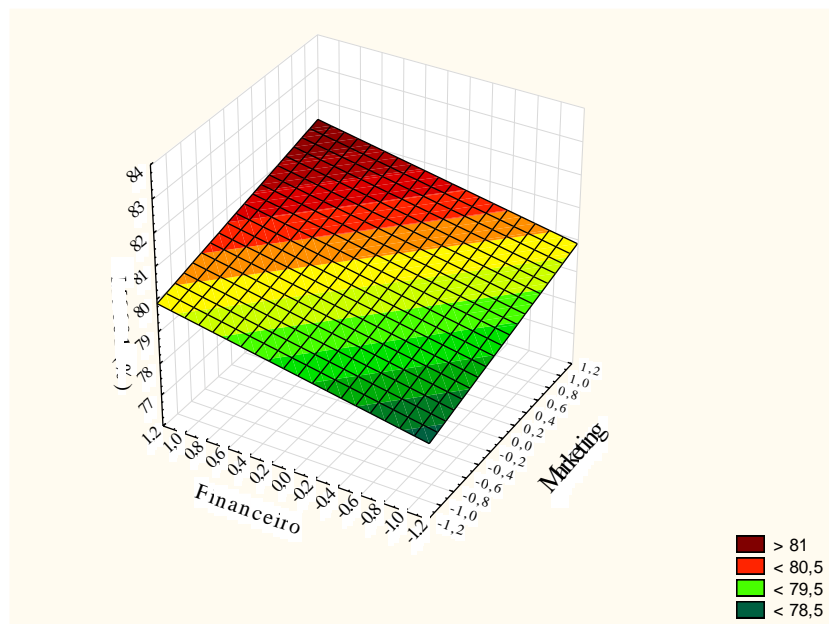
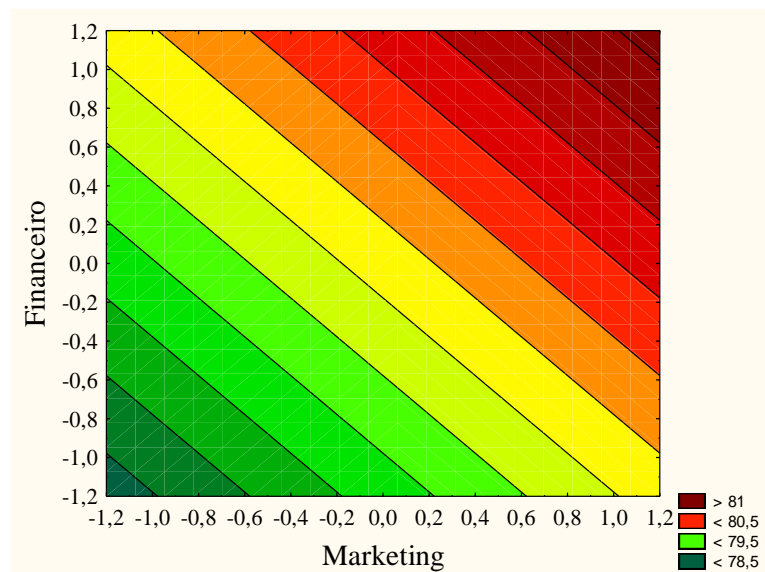


Figura 9: Curvas de nível: influência conjunta dos fatores *marketing* e financeiro



Já as Figuras 10, superfície de resposta (3D) e 11 curvas de nível (2D), representam a influência conjunta dos fatores *marketing* e operacional sobre os motivos para a implantação e certificação

da ISO 9001. Como se nota pela parte vermelha escura das citadas figuras (82%), o maior valor da variável resposta M9001 corresponde ao nível -1 do fator operacional e ao nível +1 do fator marketing. A Tabela 8 e o Quadro 4 indicam que ao nível -1 do fator operacional corresponde o motivo M5 aumento da competitividade da empresa e ao nível +1 do fator *marketing*, ao motivo M7, marketing.

Figura 10: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores *marketing* e operacional

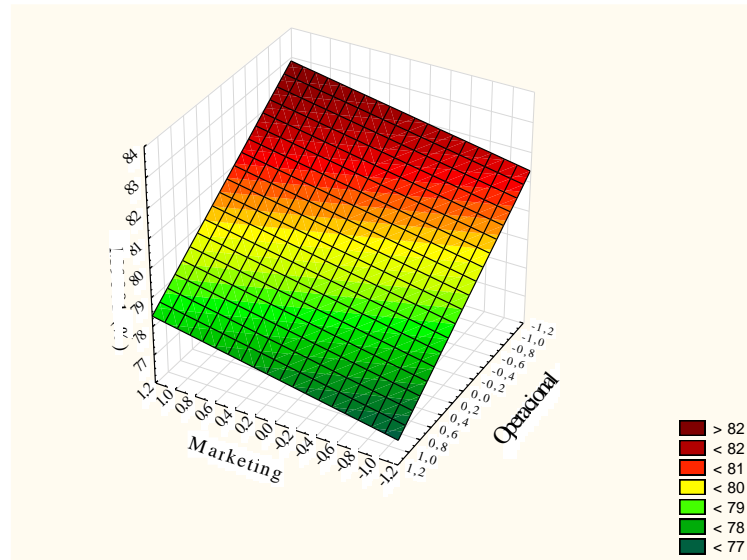
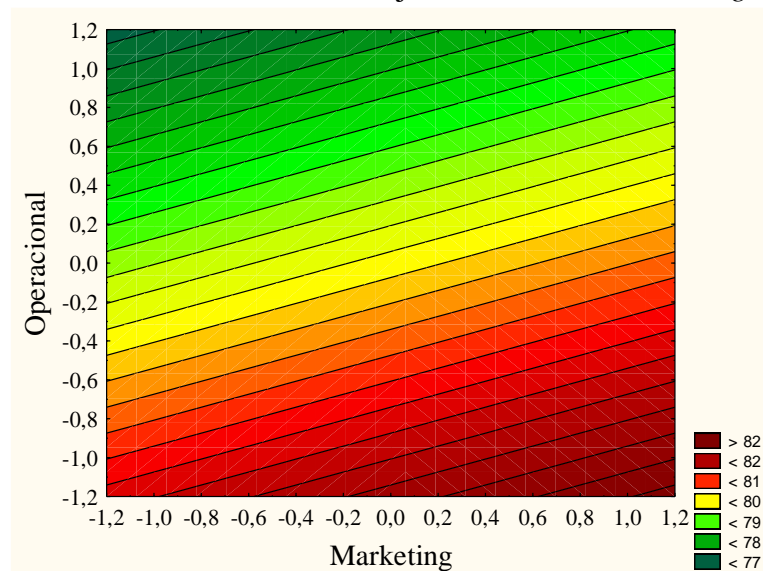


Figura 11: Curvas de nível: influência conjunta dos fatores *marketing* e operacional



As Figuras 12 e 13 apresentam a superfície de resposta (3D) e as curvas de nível (2D) que representam as influências conjuntas dos fatores operacional e financeiro nos motivos para a implantação e certificação da ISO 9001. Como se nota pela parte vermelha escura (82%) das citadas figuras o maior valor da variável resposta M9001 corresponde ao nível -1 do fator

operacional e aos níveis 0 e +1 do fator financeiro. Da Tabela 8 e do Quadro 4 tem-se que o nível -1 do fator operacional corresponde ao motivo M5 aumento da competitividade da empresa e aos níveis 0 e +1 do fator financeiro os motivos M3 novas oportunidades de negócio e M9, redução de custos.

Figura 12: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores financeiro operacional

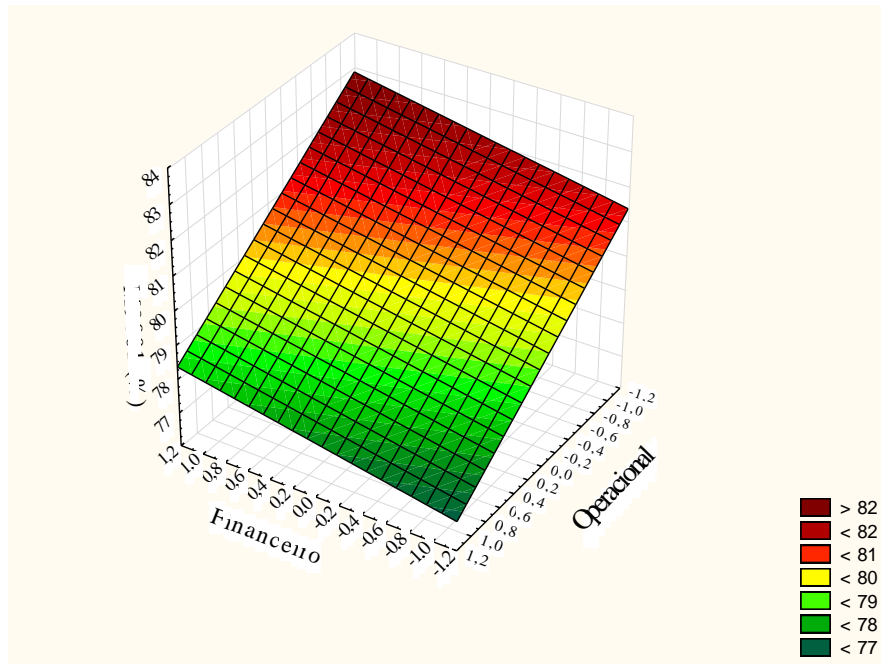
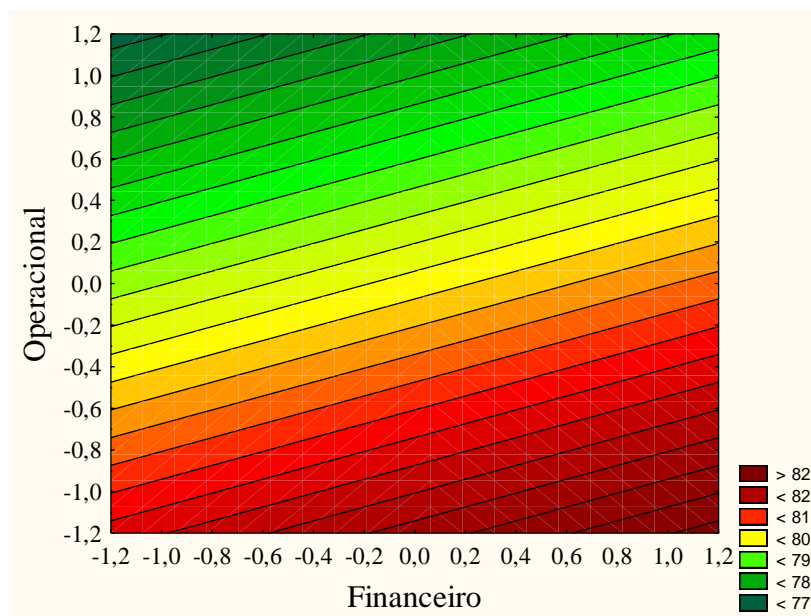


Figura 13: Curvas de nível: influência conjunta dos fatores financeiro e operacional



Verificou-se neste item (4.3.1) que os motivos associados ao fator operacional foram os que exerceram maior influência (Eq. 4.1) sobre a decisão das empresas de engenharia de projeto de implantar e certificar a ISO 9001. Identificou-se que os principais motivos por fator foram:



aumento da competitividade da empresa (operacional), redução de custos (financeiro) e *marketing (marketing)*.

Os motivos supra também foram apontados por Maekawa, Carvalho e Oliveira (2013) em um estudo com 191 empresas brasileiras certificadas e por del Castillo-Peces et al. (2018), em uma pesquisa com 302 empresas espanholas do ramo da construção civil, porém, não se encontrou estudos semelhantes para empresas do setor de Engenharia de Projetos.

#### 4.3.2 Estratégia de planejamento: benefícios da implantação da ISO 9001.

O Quadro 6 apresenta uma síntese das questões formuladas aos responsáveis pelo setor de qualidade das empresas de engenharia de projeto sobre os benefícios obtidos pela implantação e certificação de seus sistemas de gestão da qualidade. Já, da Tabela 11, constam as respostas a cada questão de acordo com a escala Likert adotada.

Quadro 6: Questões formuladas: benefícios obtidos pela ISO 9001

Questão	Descrição
B1	Aumento das vendas e lucros
B2	Menor número de queixas de clientes
B3	Aumento da exportação de serviços
B4	Melhor reputação da empresa
B5	Maior confiabilidade da empresa
B6	Redução dos problemas com qualidade
B7	Melhor atendimento dos prazos de entrega
B8	Redução das revisões de projeto
B9	Redução dos custos diretos
B10	Redução das auditorias do cliente
B11	Aumento das vantagens competitivas
B12	Maior conscientização dos funcionários
B13	Acesso a novos mercados
B14	Melhor relacionamento com clientes
B15	Melhor comunicação interna
B16	Redução dos custos de construção e montagem

Tabela 11: Escala de classificação das respostas: benefícios obtidos pela ISO 9001

Empresa	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15	B16
A	4	3	1	3	4	5	5	5	5	2	2	4	3	5	4	4
B	4	4	3	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	5	4
C	3	4	1	4	4	5	4	4	3	3	4	5	4	4	5	3
D	5	5	1	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5
E	3	3	3	4	4	4	4	4	2	2	4	5	4	4	4	3
F	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	3
G	4	4	3	4	5	4	5	4	4	3	4	5	5	4	5	4
H	5	3	3	5	5	4	4	3	3	3	5	5	5	5	5	3
I	4	4	3	4	3	4	4	4	3	3	5	4	4	4	5	3
J	3	4	1	4	5	4	3	4	3	2	5	4	3	4	4	4
K	4	4	2	4	4	4	4	4	3	2	5	4	4	4	4	4
L	3	4	3	4	4	3	4	4	3	3	5	4	4	4	5	3
M	4	4	2	3	4	4	4	4	4	2	3	4	4	5	5	4
N	3	4	3	4	5	4	4	5	3	3	4	5	3	4	5	3
O	4	3	2	4	4	4	4	4	4	2	3	4	4	4	4	4
P	3	4	2	4	4	4	4	5	5	2	4	4	4	4	5	4

Antes do planejamento e da modelagem dos dados realizou-se a validação das respostas obtidas usando coeficiente alfa de Cronbach (Eq. 3.1). Após a aplicação da técnica, as questões B3, B8 e B11 foram desconsideradas. O coeficiente alfa de Cronbach (equação 3.1) calculado para as demais questões foi de  $\alpha_c = 0,848$ , como  $0,7 < \alpha_c < 0,9$ , as questões B1, B2, B4, B5, B6, B7, B9, B10, B12, B13, B14, B15 e B16 puderam ser consideradas válidas e confiáveis (HERAS-SAZARBITORIA; ARANA LANDÍN; MOLINA-AZORÍN, 2011; TAVAKOL; DENNICK, 2011).

Para o planejamento dos experimentos, as questões avaliadas foram agrupadas segundo os fatores: financeiro, marketing e operacional como mostra o Quadro 7.

Quadro 7: Agrupamento das questões em fatores: benefícios obtidos pela ISO 9001

Questão	Descrição	Fator
B1	Aumento das vendas e lucros	Financeiro
B9	Redução dos custos diretos	
B16	Redução dos custos de construção e montagem	
B2	Menor número de queixas de clientes	Marketing
B4	Melhor reputação da empresa	
B5	Maior confiabilidade da empresa	
B13	Acesso a novos mercados	
B14	Melhor relacionamento com clientes	Operacional
B6	Redução dos problemas com qualidade	
B7	Melhor atendimento dos prazos de entrega	
B10	Redução das auditorias do cliente	
B12	Maior conscientização dos funcionários	
B15	Melhor comunicação interna	

Sendo 13 as questões agrupadas: B1, B2, B4, B5, B6, B7, B9, B10, B12, B13, B14, B15 e B16, utilizou-se um planejamento fatorial  $2^3$  rotacional (estrela) com quadruplicata no ponto central que corresponde a 18 ensaios. O fator financeiro foi codificado nos níveis -1, +1 e 0 e os fatores *marketing* e operacional nos níveis  $-\alpha$ , -1, +1  $+\alpha$ , e 0 para o ponto central, de forma a obter-se variáveis independentes,  $x_1, x_2$  e  $x_3$ . Para determinação da variável resposta B9001 foram atribuídos aos níveis -1, +1,  $-\alpha$  e  $+\alpha$  o valor médio das variáveis independentes e ao nível 0, os valores de maior frequência, como consta da Tabela 12. Optou-se por utilizar a frequência nos pontos centrais para ter os desvios e poder calcular o erro puro.

Tabela 12: Determinação dos efeitos: benefícios obtidos pela ISO 9001

Fator	Efeito	Nível	Questão	Valor
Financeiro	$x_1$	-1	B1	Média
		0	B9	Frequência
		+1	B16	Média
Marketing	$x_2$	$-\alpha$	B2	Média
		-1	B4	Média
		0	B5	Frequência
		+1	B13	Média
		$+\alpha$	B14	Média
		Operacional	$x_3$	$-\alpha$
-1	B7			Média
0	B10			Frequência
+1	B12			Média
$+\alpha$	B15			Média

A Tabela 13 apresenta a matriz de planejamento fatorial utilizada para estudar a influência dos citados fatores nos benefícios obtidos pela implantação e certificação da ISO 9001 por empresas de engenharia de projeto (BARROS NETO, SCARMINIO E BRUNS, 2010). Os valores apresentados nas colunas financeiro, *marketing* e operacional representam a média das respostas obtidas para os efeitos +1, -1,  $+\alpha$  e  $-\alpha$  e os valores de maior frequência para o ponto central, 0, de acordo com a escala Likert utilizada.

Tabela 13: Matriz de planejamento fatorial: benefícios obtidos pela ISO 9001

n	x1	x2	x3	financeiro	marketing	operacional	B9001 (%)
1	-1	-1	-1	3,69	3,94	4,06	77,9167
2	1	-1	-1	3,63	3,94	4,06	77,5000
3	-1	1	-1	3,69	3,94	4,06	77,9167
4	1	1	-1	3,63	3,94	4,06	77,5000
5	-1	-1	1	3,69	3,94	4,38	80,0000
6	1	-1	1	3,63	3,94	4,38	79,5833
7	-1	1	1	3,69	3,94	4,38	80,0000
8	1	1	1	3,63	3,94	4,38	79,5833
9	0	0	0	3	3	3	60,0000
10	0	0	0	3	5	3	73,3333
11	0	0	0	4	5	3	80,0000
12	0	0	0	3	4	3	66,6667
13	0	0	0	3	4	3	66,6667
14	0	0	0	3	4	2	66,6667
15	0	-1,682	0	3,59	3,81	2,69	67,0833
16	0	1,682	0	3,59	4,25	2,69	67,9167
17	0	0	-1,682	3,59	4,13	4,06	78,3333
18	0	0	1,682	3,59	4,13	4,63	82,0833

Para o cálculo dos parâmetros do modelo utilizou-se o método dos mínimos quadrados obtendo-se, com o auxílio do programa Scilab 6.0.1, a equação do modelo que melhor ajustou-se aos dados da Tabela 13 e que representa a influência conjunta dos fatores *marketing* (M), financeiro (F) e operacional (O) sobre os benefícios obtidos pela implantação e certificação da ISO 9001. As instruções utilizadas no programa foram:

```

- // Planejamento fatorial
- x0 = ones(18,1);
- x1 = [-1 1 -1 1 -1 1 -1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
- x2 = [-1 -1 1 1 -1 -1 1 1 0 0 0 0 0 0 -1.682 1.682 0 0];
- x3 = [-1 -1 -1 -1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 -1.682 1.682];
- Ye = [77.9167 77.5000 77.9167 77.5000 80.0000 79.5833 80.0000 79.5833 60.0000
73.3333 80.0000 66.6667 66.6667 66.6667 67.0833 67.9167 78.3333 82.0833]';
- // Modelo quadrático
- X = [x0 x1 x2 x3 x1.^2 x2.^2 x3.^2 x1.*x2 x1.*x3 x2.*x3]; // monta matriz de
coeficientes de contraste
- b = ((X'*X)^-1*(X'*Ye)); // calcula parâmetros do modelo
- Yc=b(1,1)+b(2,1)*x1+b(3,1)*x2+b(4,1)*x3+b(5,1)*x1.^2+b(6,1)*x2.^2+b(7,1)*x3.^2
+b(8,1)*x1.*x2+b(9,1)*x1.*x3+b(10,1)*x2.*x3; //resposta calculada
- // Resposta
- b = [68.8889 -0.20835 0.1026324 1.071931 6.3510029 -0.4909293 4.0010265
0. 0. -1.776D-15]
- Yc = [77.7837 77.3670 77.9890 77.5723 79.9276 79.5109 80.1329 79.7162
68.8889 68.8889 68.8889 68.8889 68.8889 68.8889 67.3273 67.6726 78.4053
82.0112

```

Observando os parâmetros da Equação 4.2, verifica-se que o fator financeiro e o fator operacional, em suas formas quadráticas exerceram uma influência de 7 a 30 vezes superior que o fator *marketing*, isto é, os benefícios associados a esses fatores foram considerados os mais significativos pelos respondentes.

$$B9001 = 68,889 - 0,208F + 0,103M + 1,072O + 6,351F^2 - 0,491M^2 + 4,001O^2 \quad (4.2)$$

A análise da variância do modelo obtido foi feita pelo método ANOVA como apresentado pela Tabela 14 (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010).

Como os valores de  $F1_{calc} > F1_{tab}$  e  $F2_{tab} < F2_{calc}$ , pode-se aceitar que o modelo tem significância estatística e é preditivo, como apontado por Barros Neto, Scarminio e Bruns (2010). Entretanto, devido a variância da amostra, o valor da correlação múltipla foi baixo indicando que o modelo consegue reproduzir quase 70% dos valores experimentais (reais). Em sistemas que apresentam alta variância nos dados, nos quais dificilmente se consegue ajustes perfeitos, alguns autores utilizam na modelagem a correlação simples (R). Como o valor de R no sistema estudado foi de 0,8268 pode-se concluir que o modelo está ajustado e reproduz

satisfatoriamente o sistema (SANTANA et al., 2018). A tabela 14 apresenta a análise de variância do modelo B9001.

Tabela 14: Análise da variância do modelo B9001.

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	$F_{calc}$	$F_{tab}$
Regressão	512,479	6	85,413		
Resíduos	237,258	11	21,569	3,960	3,095
Falta de ajuste	0,116	6	0,037		
Erro Puro	0,221	5	47,407		
Total	749,737	17		0,001	4,095
% da variância explicável				68,355	
% máxima da variância explicável				68,384	
Coefficiente de determinação				0,6835	

Na sequência realizou-se a análise das superfícies de resposta. As Figuras 14 a 19 são as representações gráficas, em três e duas dimensões, do modelo que indica a influência conjunta dos fatores financeiro, *marketing* e operacional nos benefícios obtidos pela implantação e certificação da ISO 9001.

A Figura 14, superfície de resposta (3D) e a Figura 15, curvas de nível (2D), indicam as influências dos fatores *marketing* e financeiro sobre os benefícios obtidos com a implantação e certificação da ISO 9001. Observando-se a parte vermelha alaranjada das figuras (78%) nota-se que o maior valor da variável resposta B9001 corresponde aos níveis -1,682, -1, 0 +1 e +1,682 do fator *marketing* e aos níveis -1 e +1 do fator financeiro. Consultando-se a Tabela 12 e o Quadro 6 verifica-se que os níveis do fator *marketing* correspondem aos benefícios B2 menor número de queixas de clientes, B4 melhor reputação da empresa, B5 maior confiabilidade da empresa, B13 acesso a novos mercados e B14 melhor relacionamento com clientes. Os níveis -1 e +1 do fator financeiro correspondem aos benefícios B1 aumento das vendas e lucros e B16 redução dos custos de construção e montagem.

Figura 14: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores financeiro e marketing.

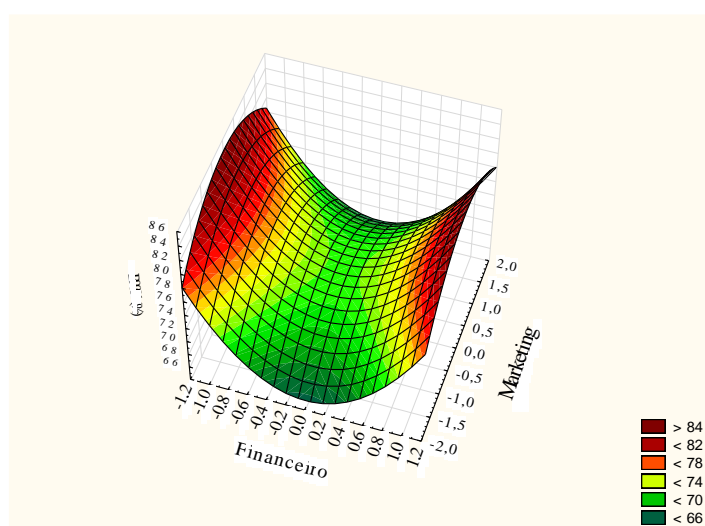
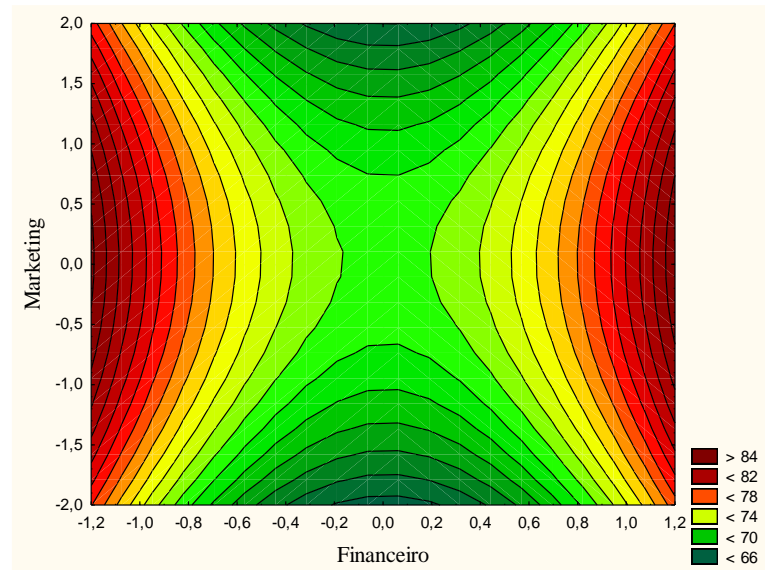


Figura 15: Curvas de nível: influência conjunta dos fatores financeiro e marketing



A Figura 16, superfície de resposta (3D) e a Figura 17, curvas de nível (2D) indicam as influências dos fatores financeiro e operacional sobre os benefícios obtidos com a implantação e certificação da ISO 9001. Observando-se a parte vermelha das figuras (89%) nota-se que o maior valor da variável resposta B9001 corresponde ao nível 1,682 do fator operacional e aos níveis -1 e +1 do fator financeiro. Consultando-se a Tabela 12 e o Quadro 13 verifica-se que ao nível 1,682 do fator operacional corresponde o benefício B15, melhor comunicação interna e aos níveis -1 e +1 do fator financeiro, os benefícios B1 aumento das vendas e lucros e B16 redução dos custos de construção.

Figura 16: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores financeiro e operacional

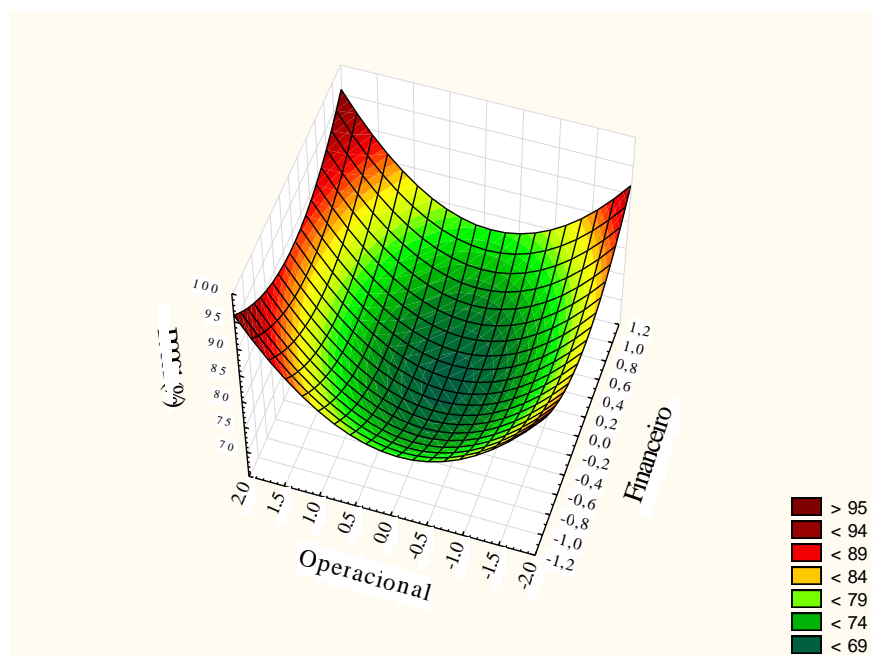
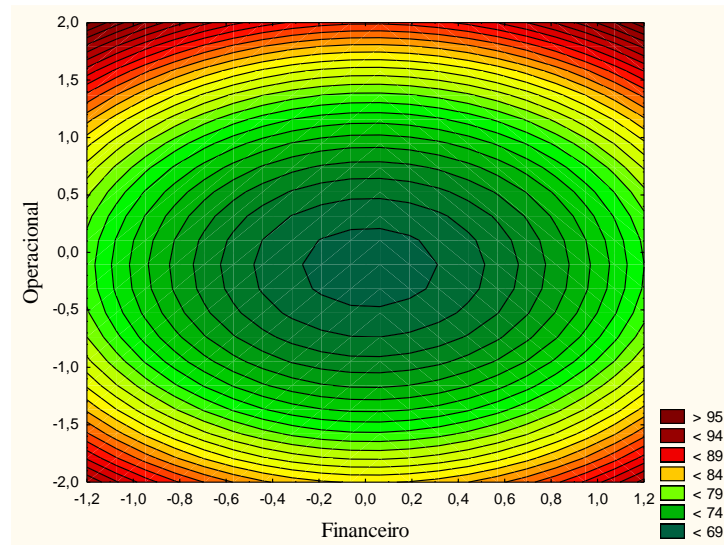


Figura 17: Curvas de nível: influência conjunta dos fatores financeiro e operacional



A Figura 18, superfície de resposta (3D) e a Figura 19, curvas de nível (2D) indicam as influências do fator operacional e do fator *marketing* sobre os benefícios obtidos com a implantação e certificação da ISO 9001. Observando-se a parte vermelha das figuras (91%) nota-se que o maior valor da variável resposta B9001 corresponde ao nível 1,682 do fator operacional e à faixa compreendida entre os níveis -1,682 e + 1,682 do fator *marketing*. Consultando-se a Tabela 12 e o Quadro 6 verifica-se que ao nível 1,682 do fator operacional corresponde o benefício B15, melhor comunicação interna e à faixa de -1,682 à +1,682 todos os benefícios agrupados no fator *marketing*.

Figura 18: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores *marketing* e operacional

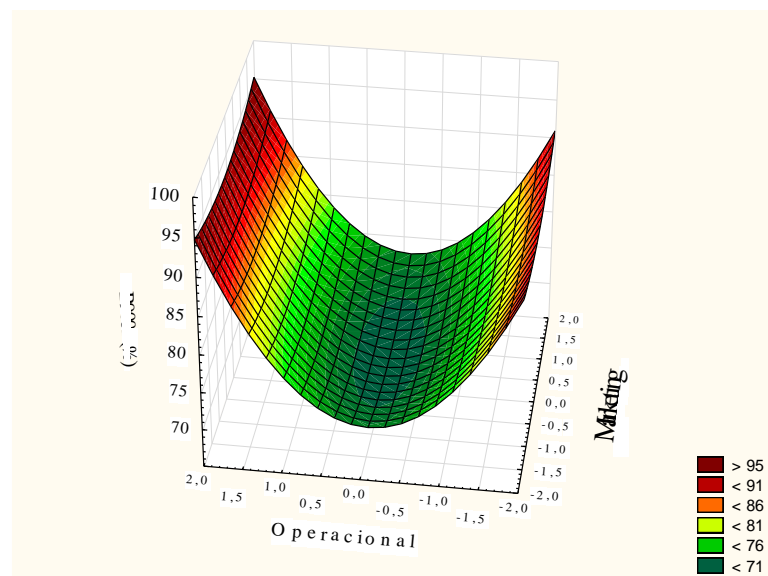
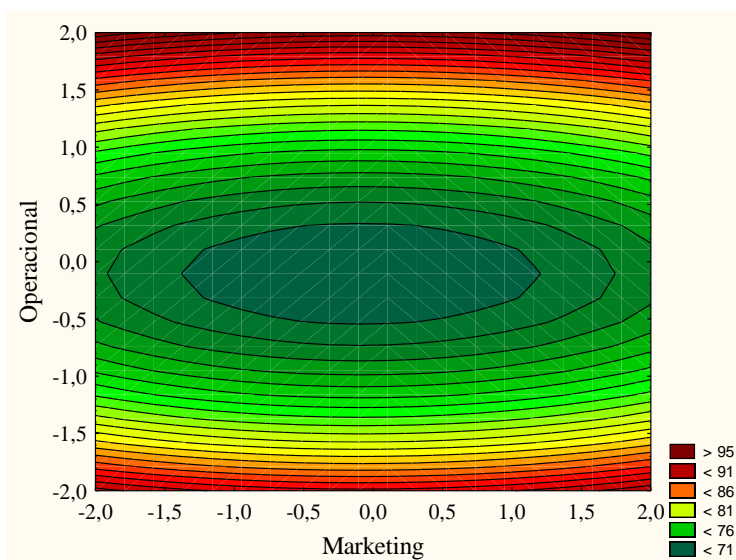


Figura 19: Curvas de nível: influência conjunta dos fatores financeiro e *marketing*



Neste item (4.3.2), verificou-se que o fator operacional e o fator financeiro foram os que mais influíram (Eq. 4.2) nos benefícios obtidos pela implantação e certificação da ISO 9001. Identificou-se como principais benefícios por fator: menor número de queixas de clientes, melhor reputação da empresa, maior confiabilidade da empresa, acesso a novos mercados, melhor relacionamento com clientes (*marketing*), aumento das vendas e lucros e redução dos custos de construção e montagem (financeiro) e melhor comunicação interna (operacional). Os benefícios identificados também foram apontados por del Castillo-Peces et al. (2018) em uma pesquisa com 302 empresas espanholas do ramo da construção civil, por Keng e Kamal (2016) em um estudo de casos com cinco empresas construtoras da Malásia e por Carmona-Calvo et al. (2016) como resultado de um estudo com 322 companhias localizadas no sul da Espanha e norte do Marrocos. Não se encontrou estudos semelhantes que abordassem empresas do setor de Engenharia de Projetos.

Comparando-se os principais motivos que levaram as empresas brasileiras de engenharia de projeto a implantar a ISO 9001, com os benefícios obtidos por sua implantação, verifica-se que os mesmos não são diretamente relacionados como observaram del Castillo-Peces et al. (2018) e Keng e Kamal (2016) em empresas de construção civil na Espanha e Malásia, respectivamente, e por Maekawa, Carvalho e Oliveira (2013) em empresas brasileiras de manufatura.

#### 4.3.3 Estratégia de planejamento: dificuldades na implantação da ISO 9001.

O Quadro 8 é uma síntese das questões formuladas aos responsáveis pelo setor de qualidade das empresas que participaram da pesquisa sobre as dificuldades observadas na implantação e



certificação do SGQ ISO 9001. Já, da Tabela 15, constam as respostas a cada questão de acordo com a escala Likert adotada.

Quadro 8: Questões formuladas: dificuldades na implantação da ISO 9001

Questão	Descrição
D1	Cultura da empresa
D2	Foco na certificação e não no sistema
D3	Baixo compromisso da alta gestão
D4	Processo de auditoria interna em desacordo com a norma
D5	Escassez de recursos humanos capacitados
D6	Pouca familiaridade da equipe com a norma
D7	Resistência da equipe à mudanças

Tabela 15: Escala de classificação das respostas: dificuldades na implantação da ISO 9001

Empresa	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
A	5	3	4	4	4	4	5
B	3	2	1	1	1	2	2
C	3	2	1	1	1	2	1
D	5	4	1	1	1	4	5
E	4	4	3	1	2	2	4
F	4	3	2	2	3	3	4
G	5	2	2	1	4	4	5
H	3	5	1	1	4	5	3
I	3	2	1	1	1	2	2
J	5	2	2	2	4	4	2
K	5	2	2	2	4	3	4
L	3	2	1	1	1	2	2
M	4	4	2	2	2	4	4
N	4	3	3	1	3	4	4
O	4	3	1	2	2	4	4
P	4	2	2	2	2	4	4

As respostas obtidas foram validadas pelo coeficiente alfa de Cronbach (Eq. 3.1) antes do planejamento e da modelagem dos dados. Após a aplicação da técnica a questão 2 foi desconsiderada. O coeficiente alfa de Cronbach (equação 3.1) calculado para as demais questões foi de  $\alpha_c = 0,847$ ; como  $0,7 < \alpha_c < 0,9$ , as questões D1, D3, D4, D5, D6 e D7, foram consideradas válidas e confiáveis (HERAS-SAIZARBITORIA; ARANA LANDÍN; MOLINA-AZORÍN, 2011; TAVAKOL; DENNICK, 2011)

Como cada fator necessita de pelo menos três itens (variações), neste planejamento só foi possível agrupar as questões em dois fatores. Assim, para o planejamento dos experimentos, as questões avaliadas foram agrupadas nos fatores: gestão da empresa e colaboradores como apresentado no Quadro 9.

Quadro 9: Agrupamento das questões em fatores: dificuldades na implantação da ISO 9001

Questão	Descrição	Fator
D1	Cultura da empresa	Gestão da empresa
D3	Baixo compromisso da alta gestão	
D4	Processo de auditoria interna em desacordo com a norma	
D5	Escassez de recursos humanos capacitados	Colaboradores
D6	Pouca familiaridade da equipe com a norma	
D7	Resistência da equipe à mudanças	

Para este planejamento fatorial foram estudados dois fatores (variáveis independentes): gestão da empresa ( $x_1$ ) e colaboradores ( $x_2$ ), divididos em três níveis (-1, 0 e +1). Utilizou-se um planejamento fatorial  $2^2$  com quadruplicata no ponto central que corresponde a 8 ensaios. Todos os fatores foram variados nos níveis -1, 0 e +1 de forma a obter-se as variáveis codificadas  $x_1$  e  $x_2$ . Para a determinação da variável resposta D9001 foram atribuídos aos níveis -1 e +1 o valor médio das variáveis independentes, e ao nível 0, os valores de maior frequência como indicado na Tabela 16. Optou-se por usar a frequência nos pontos centrais para ter-se os desvios e poder calcular o erro puro.

Tabela 16: Determinação dos efeitos: dificuldades na implantação da ISO 9001

Fator	Efeito	Nível	Questão	Valor
Gestão da empresa	$x_1$	-1	D1	Média
		0	D3	Frequência
		+1	D4	Média
Colaboradores	$x_2$	-1	D5	Média
		0	D6	Frequência
		+1	D7	Média

A Tabela 17 apresenta a matriz de planejamento fatorial utilizada para estudar a influência dos citados fatores nas dificuldades (D9001) observadas pela implantação e certificação da ISO 9001 (BARROS NETO, SCARMINIO E BRUNS, 2010). Os valores apresentados nas colunas gestão da empresa e colaboradores representam para os níveis +1 e -1 a média das respostas obtidas, e para o ponto central, 0, os valores de maior frequência conforme a escala Likert utilizada.

Tabela 17: Matriz de planejamento fatorial: dificuldades na implantação da ISO 9001

n	$x_1$	$x_2$	gestão da empresa	colaboradores	D9001 (%)
1	-1	-1	4,00	2,44	64,3750
2	+1	-1	1,56	2,44	40,0250
3	-1	+1	4,00	3,44	74,4000
4	+1	+1	1,56	3,44	50,0000
5	0	0	3,00	4,00	70,0000
6	0	0	4,00	2,00	60,0000
7	0	0	2,00	3,00	50,0000
8	0	0	1,00	5,00	60,0000

Para o cálculo dos parâmetros do modelo utilizou-se o método dos mínimos quadrados obtendo-se, com o auxílio do programa Scilab 6.0.1, a equação do modelo que melhor se ajustou aos dados da Tabela 4.16 e que representa a influência conjunta dos fatores gestão da empresa (G) e colaboradores (C) nas dificuldades observadas quando da implantação e certificação da ISO 9001. As instruções utilizadas no programa foram:

```

- // Planejamento fatorial
- x0 = ones(8,1);
- x1 = [-1 1 -1 1 0 0 0 0]';
- x2 = [-1 -1 1 1 0 0 0 0]';
- Ye = [64.3750 40.0250 74.4000 50.0000 70.0000 60.0000 50.0000 60.0000]';
- // Modelo linear
- X = [x0 x1 x2 x1.*x2]; // monta matriz de coeficientes de contraste
- b = ((X'*X)^-1)*(X'*Ye); // calcula parâmetros do modelo
- Yc=b(1,1)+b(2,1)*x1+b(3,1)*x2; // resposta calculada
- // Respostas
- // b = [58.6 -12.1875 5. 0.]
- // Yc = [65,788 41,413 75,788 51,413 58,600 58,600 58,600 58,600]

```

Observando os parâmetros da Equação 4.3 nota-se que o fator de maior influência foi a gestão da empresa que exerceu uma influência aproximadamente 2,5 vezes maior que o fator colaboradores, ou seja, os respondentes consideraram que as barreiras associadas ao fator gestão da empresa foram as que mais dificultaram a implantação da ISO 9001.

$$\boxed{D9001 = 58,6 - 12,1875G + 5C} \quad (4.3)$$

A análise da variância do modelo obtido foi feita pelo método ANOVA. Os dados da Tabela 18 mostram que o modelo possui boa significância estatística pois  $F1_{calc} > F1_{tab}$  e um bom ajuste aos dados já que  $F2_{calc} < F2_{tab}$ . Sendo 76,294% a porcentagem da variância explicável e R simples igual a 0,8724, pode-se concluir que é pequeno o número de erros e desvios devido a regressão (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010).

Tabela 18: Análise da variância do modelo D9001

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	$F_{calc}$	$F_{tab}$
Regressão	694,141	2	347,070		
Resíduos	215,681	5	43,136	8,046	5,786
Falta de ajuste	15,681	2	7,840		
Erro Puro	200,000	3	66,667		
Total	909,821	7		0,118	9,552
% da variância explicável				76,294	
% máxima da variância explicável				78,018	
Coefficiente de determinação				0,7629	

A seguir realizou-se a análise das superfícies de resposta.

A Figura 20, superfície de resposta (3D) e a Figura 21, curvas de nível (2D) indicam a influência dos fatores gestão da empresa e colaboradores sobre as dificuldades observadas na implantação e certificação da ISO 9001. Observando-se a parte vermelha escura das figuras (75%) nota-se o maior valor da variável resposta D9001 corresponde ao nível +1 do fator colaboradores e ao nível -1 do fator gestão da empresa. Da Tabela 16 e do Quadro 9 verifica-se que ao nível -1 do fator gestão da empresa corresponde a dificuldade D1, cultura da empresa, e ao nível +1 do fator colaboradores a dificuldade D7, resistência da equipe a mudanças.

Figura 20: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores gestão da empresa e colaboradores.

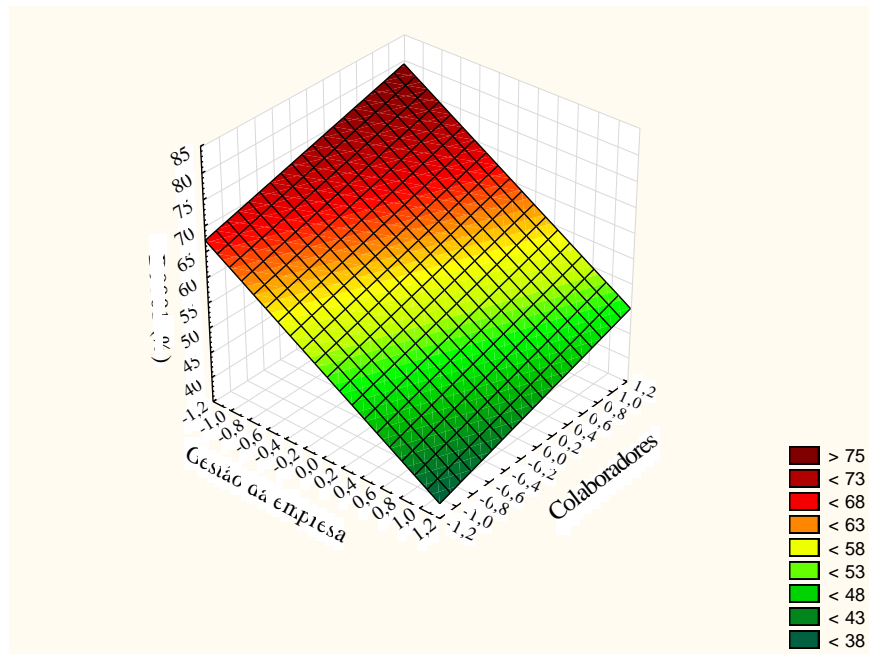
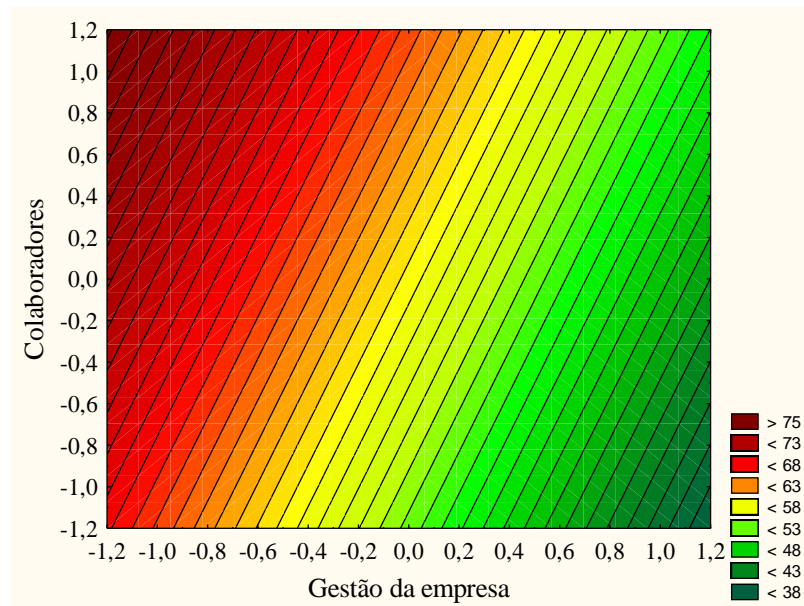


Figura 21: Curvas de nível: influência conjunta dos fatores gestão da empresa e colaboradores



Verificou-se neste item (4.3.3) que o fator gestão da empresa foi o que mais influências exerceu (Eq. 4.3) sobre as dificuldades observadas na implantação e certificação da ISO 9001. Identificou-se que as principais dificuldades de cada fator foram: cultura da empresa (gestão da empresa) e resistência da equipe a mudanças (colaboradores).

As dificuldades identificadas também foram apontadas por Maekawa, Carvalho e Oliveira (2013) em um estudo com 191 empresas brasileiras certificadas e por Bounabri et al. (2018) em uma pesquisa com 94 empresas do Marrocos. Não se encontrou estudos semelhantes para empresas do setor de Engenharia de Projetos.

#### 4.4 MODELAGEM DO SISTEMA DA GESTÃO AMBIENTAL ISO 14001

Esta seção analisa os resultados obtidos pelo questionário quanto aos motivos, benefícios e dificuldades observados na implantação da ISO 14001. Os dados do bloco 4 do questionário foram verificados quanto a validade e a confiabilidade das respostas como descrito no item 3.6. A seguir, as respostas consideradas válidas e confiáveis foram analisadas utilizando planejamentos fatoriais, o método dos mínimos quadrados e o método de superfícies de resposta para determinar os motivos que levaram as empresas de engenharia de projeto a implantar o sistema de gestão ISO 14001, os benefícios obtidos e as dificuldades encontradas.

##### 4.4.1 Estratégia de planejamento: motivos para a implantação da ISO 14001.

O Quadro 10 apresenta uma síntese das questões formuladas aos responsáveis pelo setor ambiental das empresas que participaram da pesquisa sobre os motivos que influenciaram a

implantação e certificação dos sistemas de gestão ambiental. Já a Tabela 19, apresenta as respostas a cada questão de acordo com a escala Likert adotada.

Quadro 10: Questões formuladas: motivos para implantação da ISO 14001

Questão	Descrição
M1	Atender às regulamentações ambientais
M2	Atender aos requisitos do cliente
M3	Inserção no mercado internacional
M4	Novas oportunidades de negócio
M5	Consciência ambiental da empresa
M6	Pressão dos grupos de interesse
M7	Melhoria global do desempenho ambiental
M8	Visão estratégica da empresa
M9	Corresponsabilidade em sanções aplicadas ao cliente
M10	Marketing
M11	Redução de custos

Tabela 19: Escala de classificação das respostas: motivos para implantação da ISO 14001

Empresa	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
A	4	4	5	3	3	4	4	4	4	5	3
B	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4
C	4	5	5	5	5	4	4	5	4	5	3
D	4	4	4	4	5	4	4	4	4	5	3
E	4	4	4	4	5	5	5	4	1	4	1
F	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3
G	3	4	3	3	3	4	4	5	4	3	3
H	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4
I	4	4	4	4	5	4	3	4	4	5	3
J	4	5	5	5	5	4	4	5	4	5	3
K	4	4	4	4	5	5	5	4	1	4	1
L	4	4	4	4	5	4	4	4	4	5	3
M	4	4	5	3	3	4	4	4	4	5	3
N	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3
O	3	4	3	3	3	4	4	5	4	3	3
P	4	4	4	4	5	4	3	4	4	5	3

Antes de serem utilizados na modelagem, os dados da Tabela 19 foram verificados quanto a validade e confiabilidade pelo coeficiente  $\alpha$  de Cronbach. A aplicação da técnica indicou que as questões M7 e M8 deveriam ser desconsideradas. O coeficiente alfa de Cronbach (equação 3.1) calculado para as demais questões foi  $\alpha_c = 0,7643$ , como  $0,7 < \alpha_c < 0,9$ , as questões M1, M2, M3, M4, M5, M6, M9, M10 e M11, foram consideradas válidas e confiáveis (HERAS-SAZARBITORIA; ARANA LANDÍN; MOLINA-AZORÍN, 2011; TAVAKOL; DENNICK, 2011). Após a avaliação da escala de classificação as questões formuladas foram agrupadas nos fatores: financeiro, marketing e operacional como apresentado no Quadro 11.

Quadro 11: Agrupamento das questões em fatores: motivos para a implantação da ISO 14001

Questão	Descrição	Fator
M2	Atender aos requisitos do cliente	Marketing
M9	Corresponsabilidade em sanções aplicadas ao cliente	
M10	Marketing	
M3	Inserção no mercado internacional	Financeiro
M4	Novas oportunidades de negócio	
M11	Redução de custos	
M1	Atender às regulamentações ambientais	Operacional
M5	Consciência ambiental da empresa	
M6	Pressão dos grupos de interesse	

Sendo três os fatores analisados: *marketing*, financeiro e operacional (variáveis independentes) e nove as questões agrupadas nos fatores: M1, M2, M3, M4, M5, M6, M9, M10 e M11, utilizou-se um planejamento fatorial  $2^3$  com quadruplicata no ponto central, ao qual correspondem 12 ensaios. Todos os fatores foram variados nos níveis -1, 0 e +1 de forma a obter-se as variáveis codificadas  $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$ . Para a determinação da variável resposta M14001 foram atribuídos aos níveis -1, 0 e +1 o valor médio das variáveis independentes como indicado na Tabela 20.

Tabela 20: Determinação dos efeitos: motivos para a implantação da ISO 14001

Fator	Efeito	Nível	Questão	Valor
Marketing	$x_1$	-1	M2	Média
		0	M10	Média
		+1	M9	Média
Financeiro	$x_2$	-1	M3	Média
		0	M11	Média
		+1	M4	Média
Operacional	$x_3$	-1	M1	Média
		0	M6	Média
		+1	M5	Média

A Tabela 21 apresenta a matriz de planejamento fatorial utilizada para estudar a influência dos citados fatores na motivação (M14001) das empresas de engenharia de projeto de implantar e certificar seus sistemas de gestão ambiental (BARROS NETO, SCARMINIO E BRUNS, 2010).

Os valores apresentados nas colunas *marketing*, financeiro e operacional representam a média das respostas obtidas com a escala Likert adotada.

Tabela 21: Matriz de planejamento fatorial: motivos para implantação da ISO 14001

n	$x_1$	$x_2$	$x_3$	marketing	financeiro	operacional	M14001 (%)
1	-1	-1	-1	4,13	4,13	3,88	80,8333
2	+1	-1	-1	3,50	4,13	3,88	76,6667
3	-1	+1	-1	4,13	3,88	3,88	79,1667
4	+1	+1	-1	3,50	3,88	3,88	75,0000
5	-1	-1	+1	4,13	4,13	4,25	83,3333
6	+1	-1	+1	3,50	4,13	4,25	79,1667
7	-1	+1	+1	4,13	3,88	4,25	81,6667
8	+1	+1	+1	3,50	3,88	4,25	77,5000
9	0	0	0	4,38	2,88	4,13	75,8333
10	0	0	0	4,38	2,88	4,13	75,8333
11	0	0	0	4,38	2,88	4,13	75,8333
12	0	0	0	4,38	2,88	4,13	75,8333

A modelagem e otimização dos motivos para a implantação da ISO 14001 seguiu os seguintes passos:

Para o cálculo dos parâmetros do modelo utilizou-se o método dos mínimos quadrados obtendo-se, com o auxílio do programa Scilab 6.0.1, a equação do modelo que melhor ajustou-se aos dados da Tabela 21 e que representa a influência conjunta dos fatores *marketing* (M), financeiro (F) e operacional (O) sobre os motivos da implantação e certificação da ISO 14001. As instruções utilizadas no programa foram:

```

- // Planejamento fatorial
- x0 = ones(12,1);
- x1 = [-1 1 -1 1 -1 1 -1 1 0 0 0 0]';
- x2 = [-1 -1 1 1 -1 -1 1 1 0 0 0 0]';
- x3 = [-1 -1 -1 -1 1 1 1 1 0 0 0 0]';
- Ye = [80.8333 76.6667 79.1667 75.0000 83.3333 79.1667 81.6667 77.5000 75.8333
75.8333 75.8333 75.8333]';
- // Modelo linear
- X = [x0 x1 x2 x3]; // monta matriz de coeficientes de contraste
- b = ((X'*X)^-1)*(X'*Ye); // calcula parâmetros do modelo
- Yc=b(1,1)+b(2,1)*x1+b(3,1)*x2+b(4,1)*x3; // resposta calculada
- // Respostas
- // b = [78.05555 -2.083325 -0.833325 1.25]
- // Yc = [79.7222 75.5555 78.0555 73.8889 82.2222 78.0555 80.5555 76.3889
78.0555 78.0555 78.0555 78.0555]

```

Observando-se os parâmetros da Equação 4.4 nota-se que o fator *marketing* exerceu uma influência de 2,5 a 1,6 vezes maior que os demais, em outras palavras, os gerentes das empresas



que participaram da pesquisa consideraram que os motivos associados ao fator marketing foram os que mais influenciaram suas empresas a implantar a ISO 14001.

$$M14001 = 78,055 - 2,083M - 0,833F + 1,250O \quad (4.4)$$

A análise da variância do modelo obtido foi feita pelo método ANOVA. Os dados apresentados pela Tabela 22 indicam que o modelo possui boa significância estatística pois  $F1_{calc} > F1_{tab}$  e um bom ajuste aos dados já que  $F2_{calc} < F2_{tab}$ . Sendo 64,044 a porcentagem da variância explicável e R simples 0,800, tido como uma boa correlação, pode-se concluir que é baixo o número de erros e desvios devido a regressão (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010).

Tabela 22: Análise da variância do modelo M14001

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	$F_{calc}$	$F_{tab}$
Regressão	52,777	3	17,592		
Resíduos	29,630	8	3,704	4,750	4,066
Falta de ajuste	29,630	5	5,926		
Erro Puro	0	3	0,000		
Total	82,407	11		-	9,013
% da variância explicável				64,044	
% máxima da variância explicável				-	
Coefficiente de determinação				0,6404	

A etapa seguinte consistiu da análise das superfícies de resposta. As Figuras 22 a 27 são as representações gráficas, em três e duas dimensões, do modelo que avalia a influência conjunta dos fatores *marketing*, financeiro e operacional nos motivos que influenciaram a implantação e certificação da ISO 14001.

A Figura 22, superfície de resposta (3D) e a Figura 23, curvas de nível (2D) indicam as influências dos fatores *marketing* e financeiro sobre os motivos para a implantação e certificação da ISO 14001. Observando-se a parte vermelha escura das figuras (80,75%) nota-se que o maior valor da variável resposta M14001 corresponde ao nível -1 de ambos fatores. Consultando-se a Tabela 20 e o Quadro 10 verifica-se que ao nível -1 corresponde o motivo M2, atender aos requisitos do cliente e ao motivo M3, inserção no mercado internacional.

Figura 22: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores *marketing* e financeiro

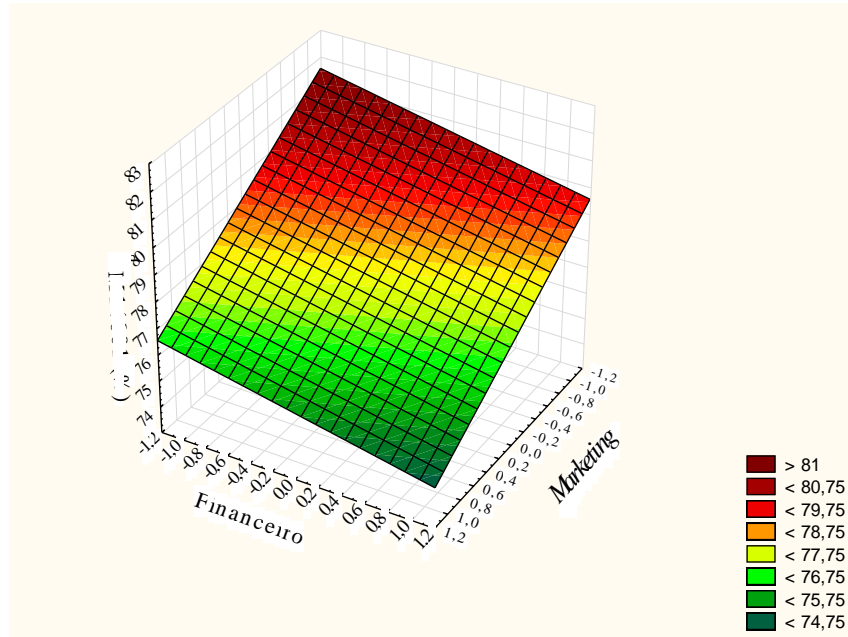
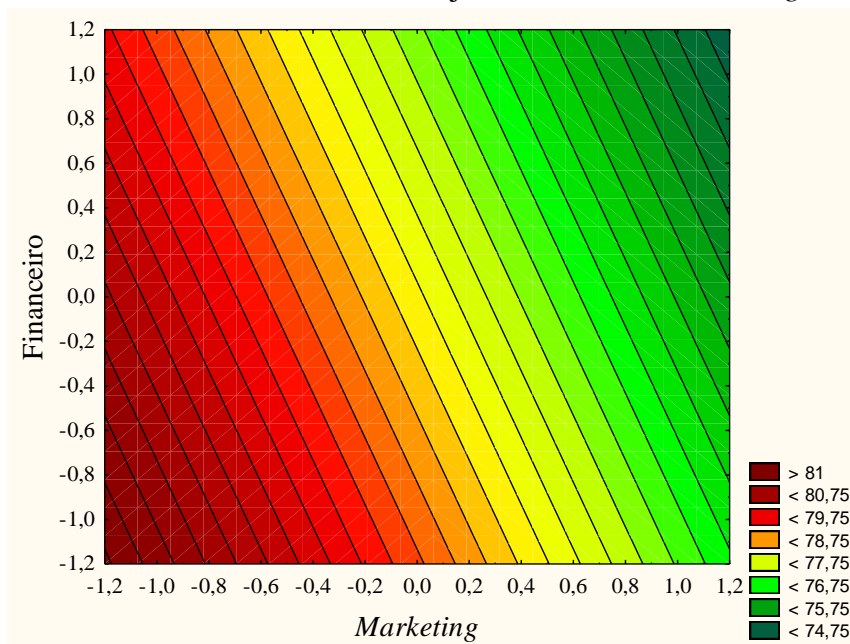


Figura 23: Curvas de nível: influência conjunta dos fatores *marketing* e financeiro



A Figura 24, superfície de resposta (3D) e a Figura 25, curvas de nível (2D) indicam as influências dos fatores *marketing* e operacional sobre os motivos para a implantação e certificação da ISO 14001. Observando-se a parte vermelha escura das figuras (81,25%) nota-se que o maior valor da variável resposta M14001 corresponde ao nível -1 do fator marketing e ao nível +1 do fator operacional. Da Tabela 20 e do Quadro 10 verifica-se que o nível -1 do fator *marketing* corresponde ao motivo M2, atender aos requisitos do cliente e o nível +1 do fator operacional ao motivo M5, consciência ambiental da empresa.

Figura 24: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores *marketing* e operacional

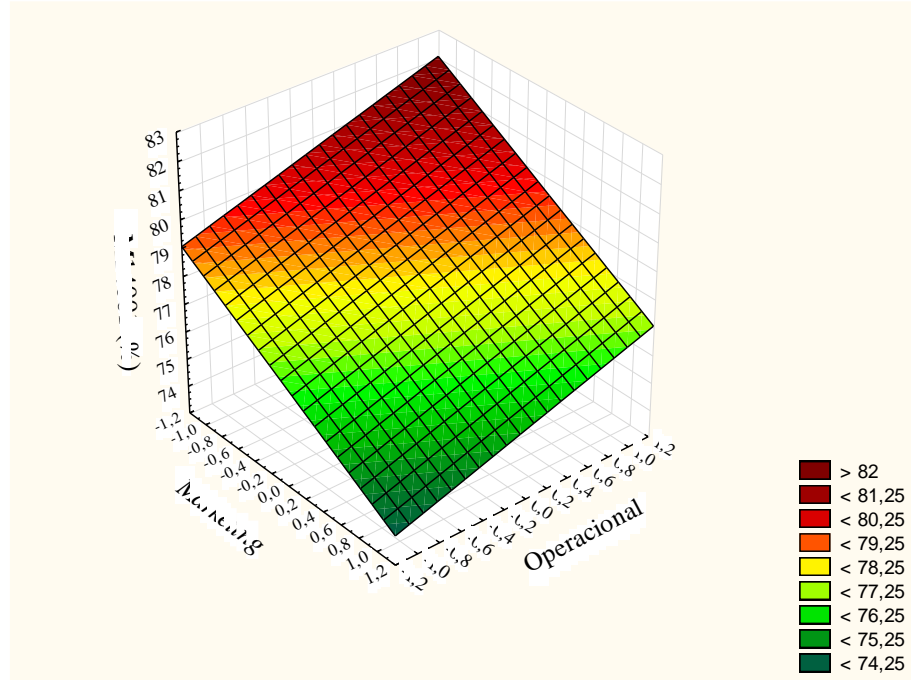
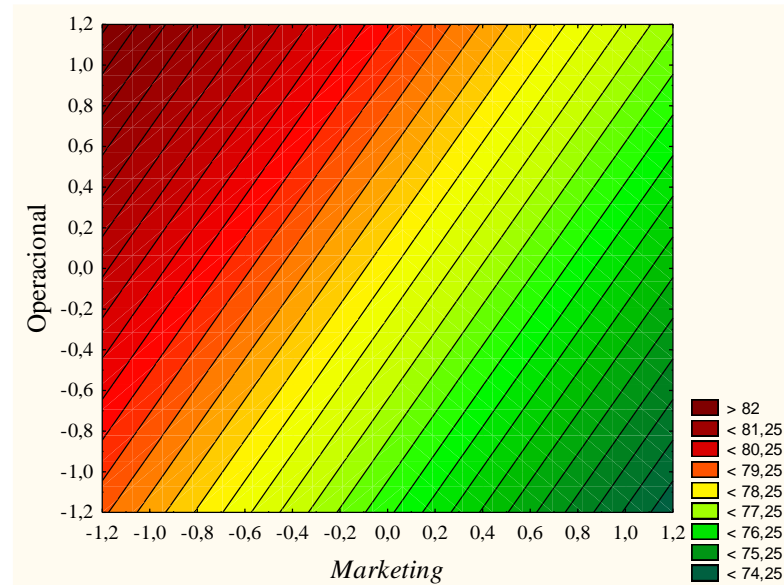


Figura 25: Curvas de nível: influência conjunta do fator *marketing* e do fator operacional



As Figuras 26 e 27 mostram a superfície de resposta (3D) e as curvas de nível (2D) que representam as influências conjuntas dos fatores operacional e financeiro nos motivos para a implantação e certificação da ISO 14001. Como se nota pela parte vermelha escura das citadas figuras (79,75%), o maior valor da variável resposta M14001 corresponde ao nível +1 do fator operacional e ao nível -1 do fator financeiro. A Tabela 20 e o Quadro 10 indicam que ao nível +1 do fator operacional corresponde ao motivo M5 consciência ambiental da empresa e o nível -1 ao motivo M3 inserção no mercado internacional.

Figura 26: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores financeiro e operacional

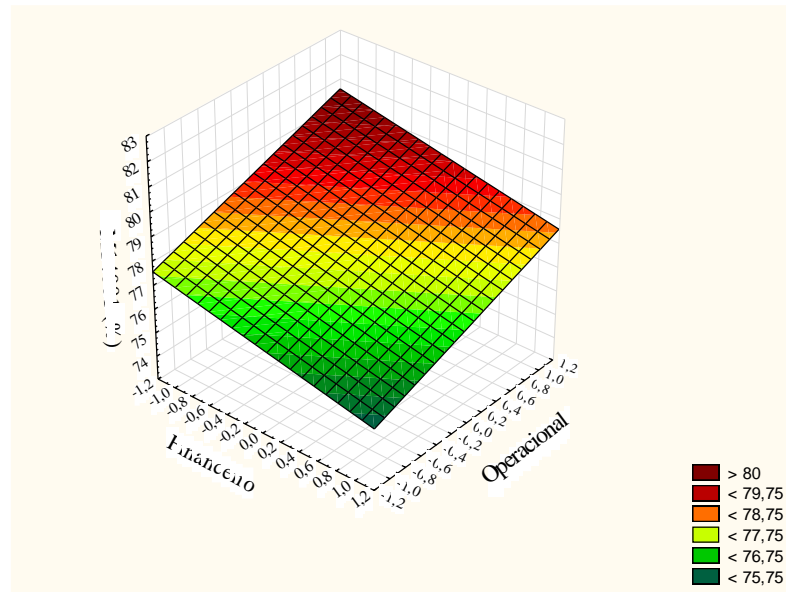
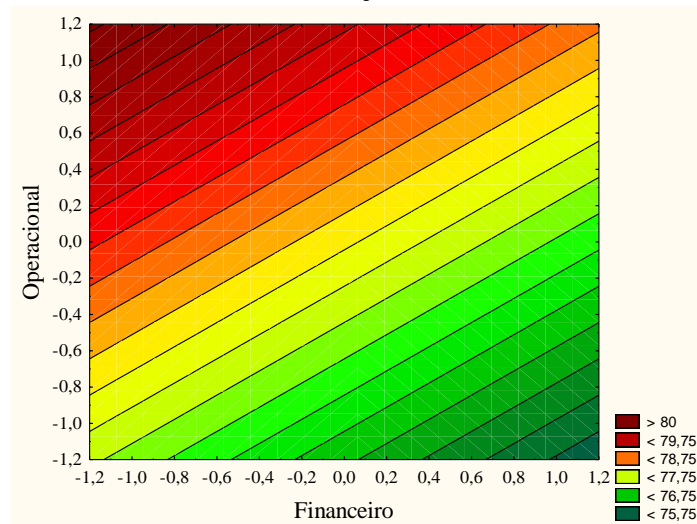


Figura 27: Curvas de nível: influência conjunta dos fatores financeiro e operacional



Verificou-se neste item (4.4.1) que o fator *marketing* (Eq. 4.4) foi o que exerceu maior influência sobre a decisão das empresas de engenharia de projeto de implantar e certificar a ISO 14001. Identificou-se como principais motivos de cada fator: atender aos requisitos dos clientes (*marketing*), inserção no mercado internacional (financeiro) e consciência ambiental da empresa (operacional).

Os motivos identificados também foram apontados por Heras-Saizarbitoria, Arana Landín e Molina-Azorín (2011) em uma pesquisa com 214 empresas do País Basco, Espanha, e por Murmura et al. (2018) como resultado de uma pesquisa com 190 companhias na Itália. Não se encontrou estudos semelhantes para empresas do setor de Engenharia de Projetos.

Considerando que as atividades das empresas de engenharia de projeto não agridem o meio ambiente pode-se concluir que as mesmas implantam e certificam a ISO 14001 de forma simbólica, ou seja, apenas para satisfazer as exigências de seus clientes.

#### 4.4.2 Estratégia de planejamento: benefícios da implantação da ISO 14001

O Quadro 12 apresenta uma síntese das questões formuladas aos responsáveis pela gestão ambiental das empresas de engenharia de projeto sobre os benefícios obtidos pela implantação e certificação de seus sistemas de gestão ISO 14001. Já, da Tabela 23 constam as respostas a cada questão de acordo com a escala Likert adotada.

Quadro 12: Questões formuladas: benefícios obtidos pela ISO 14001

Questão	Descrição
B1	Redução de custos do cliente pelo uso racional de recursos
B2	Menor número de queixas de clientes
B3	Melhor reputação da empresa
B4	Redução de prêmios de seguro
B5	Redução do custo interno pelo uso racional de recursos
B6	Maior facilidade na obtenção de financiamento
B7	Redução de não conformidades nas auditorias
B8	Conscientização ambiental dos funcionários
B9	Acesso a novos mercados
B10	Melhor relacionamento com clientes
B11	Melhor comunicação interna
B12	Redução de auditorias do cliente

Tabela 23: Escala de classificação das respostas: benefícios obtidos pela ISO 14001

Empresa	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
A	2	4	5	4	5	4	2	5	5	4	5	2
B	3	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4
C	2	4	5	4	5	4	2	5	5	4	5	5
D	2	4	5	2	4	3	2	4	4	4	4	2
E	4	4	4	4	2	3	2	5	4	4	4	2
F	2	4	4	2	4	2	2	4	3	4	4	2
G	3	4	4	4	5	3	4	2	5	5	5	4
H	3	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4
I	2	4	5	2	4	3	2	4	4	4	4	2
J	2	4	5	4	5	4	2	5	5	4	5	5
K	4	4	4	4	2	3	2	5	4	4	4	2
L	2	4	5	2	4	3	2	4	4	4	4	2
M	2	4	5	4	5	4	2	5	5	4	5	2
N	2	4	4	2	4	2	2	4	3	4	4	2
O	3	4	4	4	5	3	4	2	5	5	5	4
P	2	4	5	2	4	3	2	4	4	4	4	2

Os dados da Tabela 23 foram verificados quanto a validade e confiabilidade usando o coeficiente alfa de Cronbach (Eq. 3.1) antes do planejamento e da modelagem. O resultado dessa verificação mostrou que as questões B1, B2 e B8 deveriam ser desconsideradas. O coeficiente alfa de Cronbach calculado para as demais questões foi de  $\alpha_c = 0,817$ , como  $0,7 <$

$\alpha_c < 0,9$ , as questões B3, B4, B5, B6, B7, B9, B10, B11, B12, foram consideradas válidas e confiáveis (HERAS-SAIZARBITORIA; ARANA LANDÍN; MOLINA-AZORÍN, 2011; TAVAKOL; DENNICK, 2011).

Para planejar os experimentos as questões verificadas foram agrupadas nos fatores: financeiro, marketing e operacional como apresenta o Quadro 13.

Quadro 13: Agrupamento das questões em fatores: benefícios obtidos pela ISO 14001

Questão	Descrição	Fator
B3	Melhor reputação da empresa	Marketing
B9	Acesso a novos mercados	
B10	Melhor relacionamento com clientes	
B4	Redução de prêmios de seguro	Financeiro
B5	Redução do custo interno pelo uso racional de recursos	
B6	Maior facilidade na obtenção de financiamento	
B7	Redução de não conformidades nas auditorias	Operacional
B11	Melhor comunicação interna	
B12	Redução das auditorias do cliente	

No planejamento fatorial foram estudados os fatores: *marketing*, financeiro e operacional (variáveis independentes), sendo nove as questões agrupadas, B3, B4, B5, B6, B7, B9, B10, B11 e B12, utilizou-se um planejamento fatorial  $2^3$  com quadruplicata no ponto central, ao qual correspondem 12 ensaios. Todos os fatores foram variados nos níveis -1, 0 e +1 de forma a obter-se as variáveis codificadas  $x_1, x_2$  e  $x_3$ . Para a determinação da variável resposta B14001 foram atribuídos aos níveis -1, 0 e +1 o valor médio das variáveis independentes como indicado na Tabela 24.

Tabela 24: Determinação dos efeitos: benefícios da implantação da ISO 14001

Fator	Efeito	Nível	Questão	Valor
Marketing	$x_1$	-1	B3	Média
		0	B10	Média
		+1	B9	Média
Financeiro	$x_2$	-1	B4	Média
		0	B6	Média
		+1	B5	Média
Operacional	$x_3$	-1	B7	Média
		0	B12	Média
		+1	B11	Média

A Tabela 25 apresenta a matriz de planejamento fatorial utilizada para estudar a influência dos citados fatores nos benefícios (B14001) obtidos pela implantação e certificação da ISO 14001 por empresas de engenharia de projeto (BARROS NETO, SCARMINIO E BRUNS, 2010). Os valores apresentados nas colunas *marketing*, financeiro e operacional representam a média das respostas obtidas de acordo com a escala Likert utilizada.

Tabela 25: Matriz de planejamento fatorial: benefícios obtidos pela ISO 14001

n	x1	x2	x3	marketing	financeiro	operacional	B14001 (%)
1	-1	-1	-1	4,5	3,25	2,50	68,3333
2	1	-1	-1	4,25	3,25	2,50	66,6667
3	-1	1	-1	4,50	4,13	2,50	74,1667
4	1	1	-1	4,25	4,13	2,50	72,500
5	-1	-1	1	4,50	3,25	4,38	80,8333
6	1	-1	1	4,25	3,25	4,38	79,1667
7	-1	1	1	4,50	4,13	4,38	86,6667
8	1	1	1	4,25	4,13	4,38	85,0000
9	0	0	0	4,13	3,13	2,88	67,5000
10	0	0	0	4,13	3,13	2,88	67,5000
11	0	0	0	4,13	3,13	2,88	67,5000
12	0	0	0	4,13	3,13	2,88	67,5000

Para o cálculo dos parâmetros do modelo utilizou-se o método dos mínimos quadrados, com o auxílio do programa Scilab 6.0.1, obtendo-se a equação que melhor ajustou-se aos dados da Tabela 25 e que representa a influência conjunta dos fatores *marketing* (M), financeiro (F) e operacional (O) sobre os benefícios obtidos pela implantação e certificação da ISO 14001. As instruções utilizadas no programa foram:

```

- // Planejamento fatorial
- x0 = ones(12,1);
- x1 = [-1 1 -1 1 -1 1 -1 1 1 0 0 0 0]';
- x2 = [-1 -1 1 1 -1 -1 1 1 1 0 0 0 0]';
- x3 = [-1 -1 -1 -1 1 1 1 1 1 0 0 0 0]';
- Ye = [68.3333 66.6667 74.1667 72.5000 80.8333 79.1667 86.6667 85.0000 67.5000
67.5000 67.5000 67.5000]';
- // Modelo linear
- X = [x0 x1 x2 x3]; // monta matriz de coeficientes de contraste
- b = ((X'*X)^-1)*(X'*Ye); // calcula parâmetros do modelo
- Yc=b(1,1)+b(2,1)*x1+b(3,1)*x2+b(4,1)*x3; // resposta calculada
- // Respostas
- // b = [73.611117 -0.833325 2.916675 6.25]
- // Yc = [65.2777 63.6111 71.1111 69.4444 77.7777 76.1111 83.6111 81.9444
73.6111 73.6111 73.6111 73.6111]

```

Observando os parâmetros da Equação 4.5 nota-se que o fator operacional exerceu uma influência de 2 a 7 vezes maior que os demais fatores, ou seja, os respondentes das empresas que participaram da pesquisa consideraram que os benefícios agrupados no fator operacional foram os mais significativos.

$$\boxed{B14001 = 73,611 - 0,833M + 2,917F + 6,250} \quad (4.5)$$

A análise da variância do modelo obtido foi feita pelo método ANOVA. Os dados apresentados pela Tabela 26 mostram que o modelo possui boa significância estatística pois  $F1_{calc} > F1_{tab}$  e um bom ajuste aos dados já que  $F2_{calc} < F2_{tab}$ . Sendo de 63,278 a porcentagem da variância explicável e R simples aproximadamente 0,800, valor que é tido como uma boa correlação, pode-se concluir que é baixo o número de erros e desvios devido a regressão (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010).

Tabela 26: Análise da variância do modelo B9001.

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	$F_{calc}$	$F_{tab}$
Regressão	386,111	3	128,704		
Resíduos	224,074	8	28,009	4,595	4,066
Falta de ajuste	224,074	5	44,815		
Erro Puro	0,000	3	0,000		
Total	610,185	11		-	9,013
% da variância explicável				63,278	
% máxima da variância explicável				-	
Coefficiente de determinação				0,6328	

As Figuras 28 a 33 são as representações gráficas, em três e duas dimensões, do modelo que representa a influência conjunta dos fatores *marketing*, financeiro e operacional nos benefícios obtidos pela implantação e certificação da ISO 14001.

A Figura 28, superfície de resposta (3D) e a Figura 29, curvas de nível (2D) indicam as influências dos fatores *marketing* e financeiro sobre os benefícios obtidos com a implantação e certificação da ISO 14001 por empresas de engenharia de projeto. Observando-se a parte vermelha escura das figuras (78%) nota-se que o maior valor da variável resposta B14001 corresponde aos níveis -1, do fator *marketing* e +1 do fator financeiro. Consultando-se a Tabela 24 e o Quadro 12 verifica-se que o nível -1 do fator *marketing* corresponde ao benefício B3, melhor reputação da empresa e o nível +1 do fator financeiro ao benefício B5, redução do custo interno pelo uso racional de recursos.



Figura 28: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores financeiro e *marketing*.

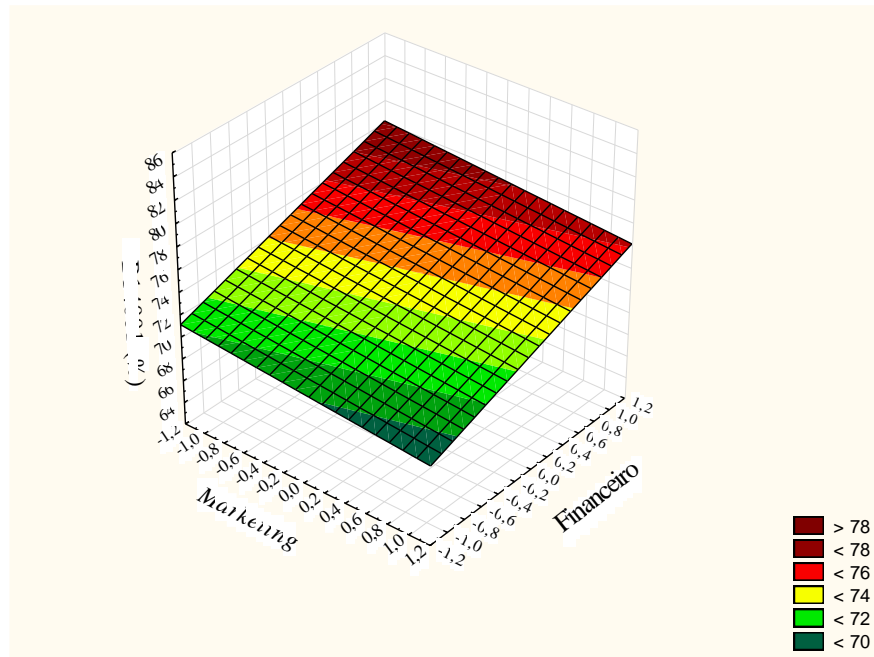
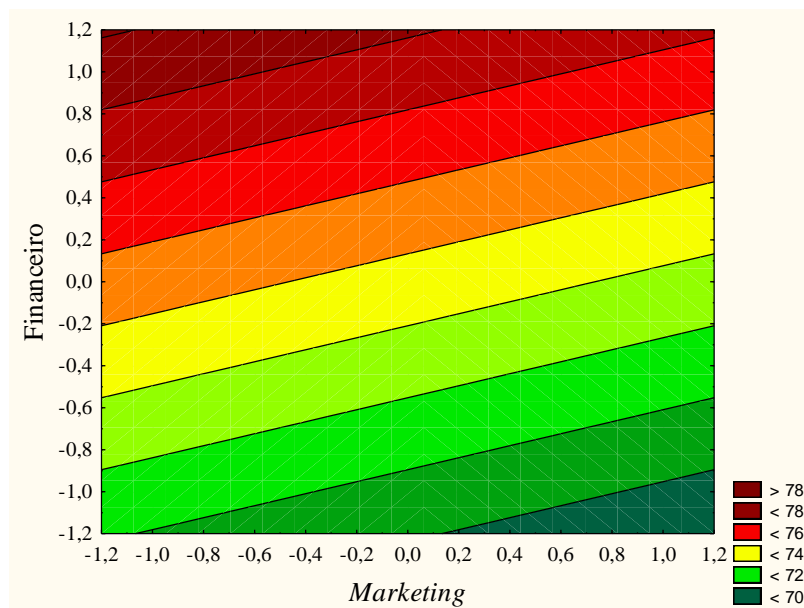


Figura 29: Curvas de nível: influência conjunta dos fatores financeiro e *marketing*



A Figura 30, superfície de resposta (3D) e a Figura 31, curvas de nível (2D) indicam as influências dos fatores marketing e operacional sobre os benefícios obtidos com a implantação e certificação da ISO 14001. Observando-se a parte vermelha escura das figuras (82%) nota-se que o maior valor da variável resposta B14001 corresponde ao nível +1 do fator operacional e ao nível -1 do fator *marketing*. Consultando-se a Tabela 24 e o Quadro 12 verifica-se que o nível +1 do fator operacional corresponde o benefício B11, melhor comunicação interna e o nível -1 do fator *marketing*, o benefício B3 melhor reputação da empresa.

Figura 30: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores *marketing* e operacional

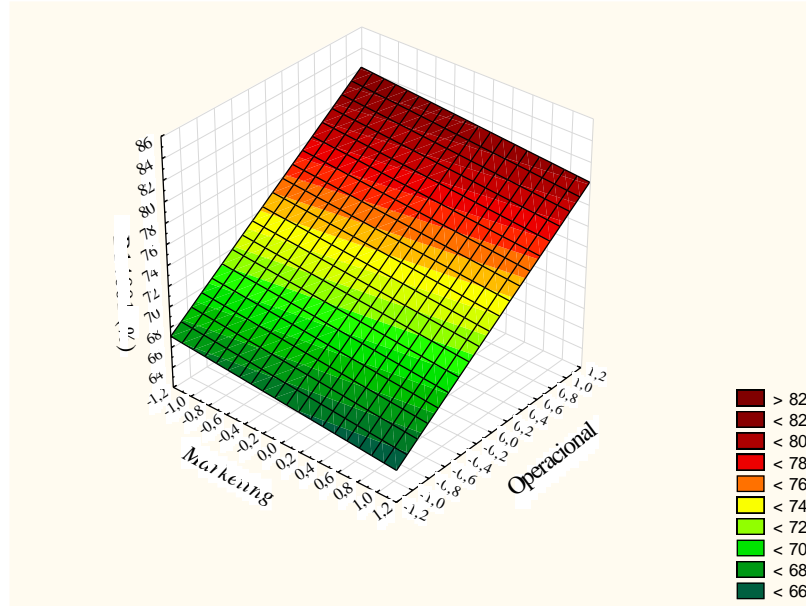
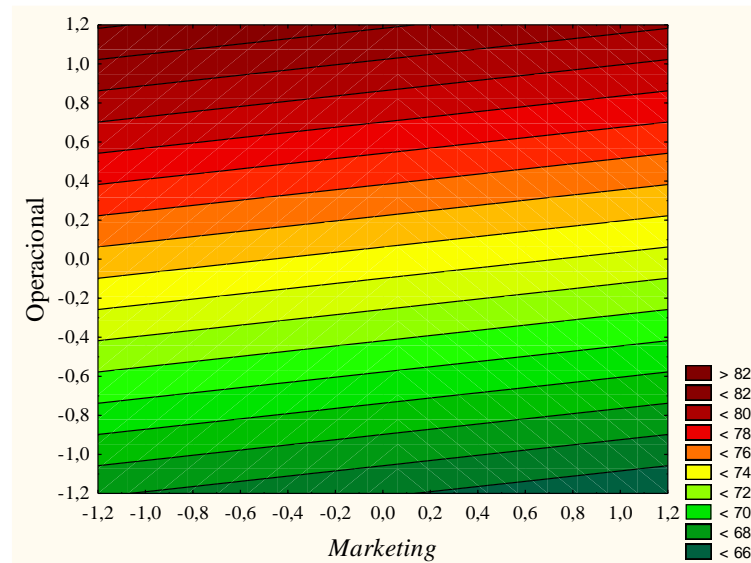


Figura 31: Curvas de nível: influência conjunta dos fatores *marketing* e operacional



A Figura 32, superfície de resposta (3D) e a Figura 33, curvas de nível (2D) representam as influências do fator operacional e do fator financeiro sobre os benefícios obtidos com a implantação e certificação da ISO 14001 por empresas de engenharia de projeto. Observando-se a parte vermelha escura das figuras (83%) nota-se que o maior valor da variável resposta B14001 corresponde ao nível +1 de ambos fatores. Consultando-se a Tabela 24 e o Quadro 12 verifica-se que ao nível +1 do fator operacional corresponde o benefício B11 melhor comunicação interna e ao nível +1 do fator financeiro o benefício B5 redução do custo interno pelo uso racional de recursos.

Figura 32: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores financeiro e operacional

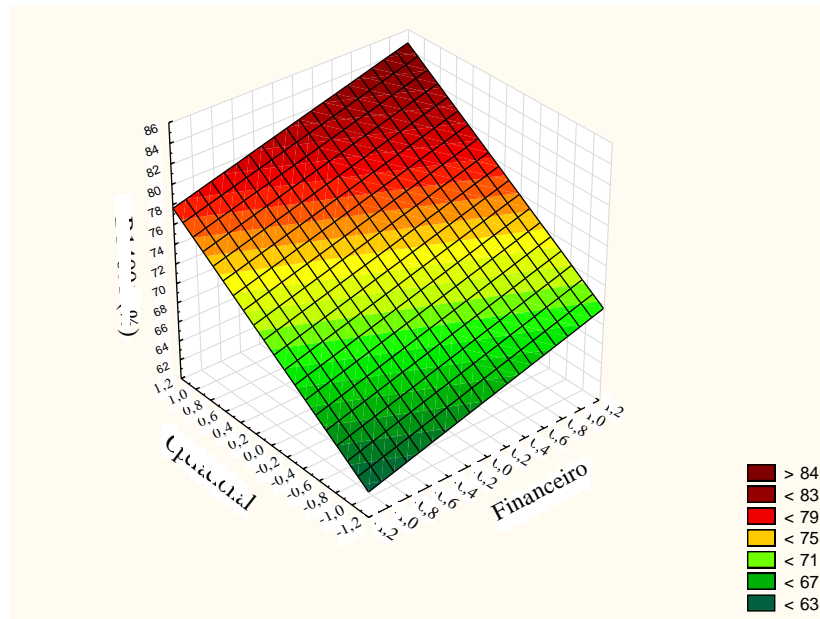
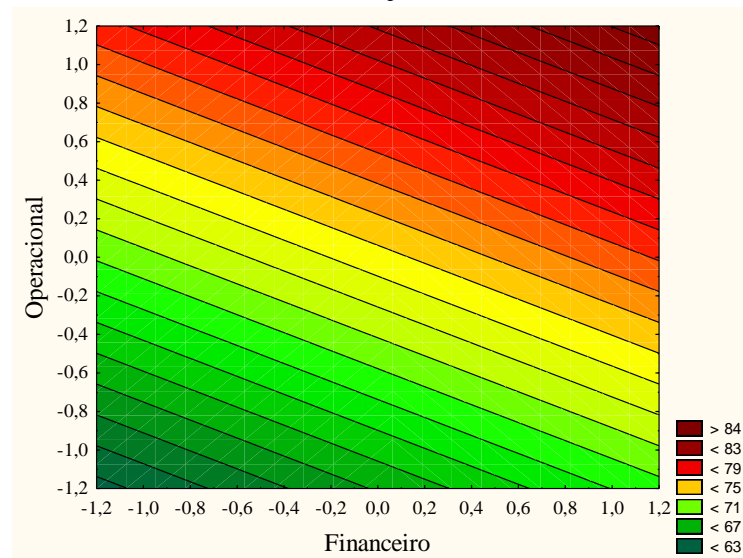


Figura 33: Curvas de nível: influência conjunta dos fatores financeiro e operacional



Neste item (4.4.2) verificou-se que o fator operacional foi o que mais benefícios trouxe às as empresas de engenharia de projeto a implantar e certificar a ISO 14001 (Eq. 4.5). Identificou-se que os principais benefícios de cada fator foram: melhor comunicação interna (operacional), melhor reputação da empresa (marketing) e redução do custo interno pelo uso racional de recursos (financeiro).

Os benefícios supracitados também foram apontados por Murmura et al (2018) em uma pesquisa com 190 companhias na Itália. Não se encontrou estudos semelhantes para empresas do setor de Engenharia de Projetos.

#### 4.4.3 Estratégia de planejamento: dificuldades na implantação da ISO 14001

O Quadro 14 é uma síntese das questões formuladas aos responsáveis pela gestão ambiental das empresas de engenharia de projeto sobre as dificuldades observadas na implantação e certificação da ISO 14001. Já, da Tabela 27 constam as respostas a cada questão de acordo com a escala Likert adotada.

Quadro 13: Questões formuladas: dificuldades na implantação da ISO 14001

Questão	Descrição
D1	Cultura da empresa
D2	Foco na certificação e não no sistema
D3	Baixo compromisso da alta gestão
D4	Processo de auditoria interna em desacordo com a norma
D5	Escassez de recursos humanos capacitados
D6	Pouca familiaridade da equipe com a norma
D7	Resistência da equipe a mudanças

Tabela 27: Escala de classificação das respostas: dificuldades na implantação da ISO 14001

Empresa	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
A	5	3	4	4	4	4	5
B	3	2	1	1	1	2	2
C	3	2	1	1	1	2	1
D	5	4	1	1	1	4	5
E	4	4	3	1	2	2	4
F	4	3	2	2	3	3	4
G	5	2	2	1	4	4	5
H	3	5	1	1	4	5	3
I	3	2	1	1	1	2	2
J	5	2	2	2	4	4	2
K	5	2	2	2	4	3	4
L	3	2	1	1	1	2	2
M	4	4	2	2	2	4	4
N	4	3	3	1	3	4	4
O	4	3	1	2	2	4	4
P	4	2	2	2	2	4	4

As respostas obtidas foram validadas pelo coeficiente alfa de Cronbach (Eq. 3.1) antes do planejamento e da modelagem dos dados. Após a aplicação da técnica a questão D2 foi desconsiderada. O coeficiente alfa de Cronbach (equação 3.1) calculado para as demais questões foi de  $\alpha_c = 0,847$ ; como  $0,7 < \alpha_c < 0,9$ , as questões D1, D3, D4, D5, D6 e D7, foram consideradas válidas e confiáveis (HERAS-SAIZARBITORIA; ARANA LANDÍN; MOLINA-AZORÍN, 2011; TAVAKOL; DENNICK, 2011)

Como cada fator necessita de pelo menos três variações, neste planejamento só foi possível agrupar as questões em dois fatores. Assim, para o planejamento dos experimentos, as

questões avaliadas foram agrupadas nos fatores: gestão da empresa e colaboradores como apresentado no Quadro 15.

Quadro 14: Agrupamento das questões em fatores: dificuldades na implantação da ISO 14001

Questão	Descrição	Fator
D1	Cultura da empresa	Gestão da empresa
D3	Baixo compromisso da alta gestão	
D4	Processo de auditoria interna em desacordo com a norma	
D5	Escassez de recursos humanos capacitados	Colaboradores
D6	Pouca familiaridade da equipe com a norma	
D7	Resistência da equipe à mudanças	

Neste planejamento fatorial foram estudados dois fatores (variáveis independentes): gestão da empresa ( $x_1$ ) e colaboradores ( $x_2$ ), divididos em três níveis (-1, 0 e +1). Utilizou-se um planejamento fatorial  $2^2$ , com quadruplicata no ponto central, que corresponde a 8 ensaios. Todos os fatores foram variados nos níveis -1, 0 e +1 de forma a obter-se as variáveis codificadas  $x_1$  e  $x_2$ . Para a determinação da variável resposta D14001 foram atribuídos aos níveis -1 e +1 o valor médio das variáveis independentes, e ao nível 0, os valores de maior frequência como indicado na Tabela 27. Optou-se por usar a frequência nos pontos centrais para ter-se os desvios e poder calcular o erro puro.

Tabela 28: Determinação dos efeitos: dificuldades na implantação da ISO 14001

Fator	Efeito	Nível	Questão	Valor
Gestão da empresa	$x_1$	-1	D1	Média
		0	D3	Frequência
		+1	D4	Média
Colaboradores	$x_2$	-1	D5	Média
		0	D6	Frequência
		+1	D7	Média

A Tabela 29 apresenta a matriz de planejamento fatorial utilizada para estudar a influência dos citados fatores nas dificuldades (D14001) observadas pela implantação e certificação da ISO 14001 (BARROS NETO, SCARMINIO E BRUNS, 2010). Os valores apresentados nas colunas gestão da empresa e colaboradores representam para os níveis +1 e -1 a média das respostas obtidas, e para o ponto central, 0, os valores de maior frequência conforme a escala Likert utilizada.

Tabela 29: Matriz de planejamento fatorial – dificuldades na implantação da ISO 14001

n	$x_1$	$x_2$	gestão da empresa	colaboradores	D9001 (%)
1	-1	-1	4,00	2,44	64,3750
2	+1	-1	1,56	2,44	40,0250
3	-1	+1	4,00	3,44	74,4000
4	+1	+1	1,56	3,44	50,0000
5	0	0	3,00	4,00	70,0000
6	0	0	4,00	2,00	60,0000
7	0	0	2,00	3,00	50,0000
8	0	0	1,00	5,00	60,0000

Para o cálculo dos parâmetros do modelo utilizou-se o método dos mínimos quadrados com o auxílio do programa Scilab 6.0.1, obtendo-se a equação do modelo que melhor se ajustou aos dados da Tabela 29 e que representa a influência conjunta dos fatores gestão da empresa (G) e colaboradores (C) nas dificuldades observadas quando da implantação e certificação da ISO 14001. As instruções utilizadas no programa foram:

```

- // Planejamento fatorial
- x0 = ones(8,1);
- x1 = [-1 1 -1 1 0 0 0 0]';
- x2 = [-1 -1 1 1 0 0 0 0]';
- Ye = [64.3750 40.0250 74.4000 50.0000 70.0000 60.0000 50.0000 60.0000]';
- // Modelo linear
- X = [x0 x1 x2]; // monta matriz de coeficientes de contraste
- b = ((X'*X)^-1)*(X'*Ye); // calcula parâmetros do modelo
- Yc=b(1,1)+b(2,1)*x1+b(3,1)*x2; // resposta calculada
- // Respostas
- // b = [58.6 -12.1875 5.]
- // Yc = [65,788 41,413 75,788 51,413 58,600 58,600 58,600 58,600]

```

Observando os parâmetros da Equação 4.3 nota-se que o fator de maior influência foi a gestão da empresa que exerceu uma influência aproximadamente 2,5 vezes maior que o fator colaboradores, isto é, os respondentes consideraram que as barreiras associadas ao fator gestão da empresa foram as que mais dificultaram a implantação da ISO 9001.

$$\boxed{D14001 = 58,6 - 12,1875G + 5C} \quad (4.6)$$

A análise da variância do modelo obtido foi feita pelo método ANOVA. Os dados da Tabela 30 mostram que o modelo possui boa significância estatística pois  $F1_{calc} > F1_{tab}$  e um bom ajuste aos dados já que  $F2_{calc} < F2_{tab}$ . Sendo 76,294 a porcentagem da variância explicável e

R simples igual a 0,8724, pode-se concluir que é pequeno o número de erros e desvios devido a regressão (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010).

Tabela 30: Análise da variância do modelo D14001

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	$F_{calc}$	$F_{tab}$
Regressão	694,141	2	347,070		
Resíduos	215,681	5	43,136	8,046	5,786
Falta de ajuste	15,681	2	7,840		
Erro Puro	200,000	3	66,667		
Total	909,821	7		0,118	9,552
% da variância explicável					76,294
% máxima da variância explicável					78,018
Coefficiente de determinação					0,7629

A seguir realizou-se a análise das superfícies de resposta.

A Figura 34, superfície de resposta (3D) e a Figura 35, curvas de nível (2D) indicam a influências dos fatores gestão da empresa e colaboradores sobre as dificuldades observadas na implantação e certificação da ISO 14001. Observando-se a parte vermelha escura das figuras (75%) nota-se que a esse valor corresponde o nível +1 do fator colaboradores e o nível -1 do fator gestão da empresa. Da Tabela 28 e do Quadro 15 verifica-se que ao nível -1 do fator gestão da empresa corresponde a dificuldade D1, cultura da empresa, e ao nível +1 do fator colaboradores a dificuldade D7, resistência da equipe a mudanças.

Figura 34: Superfície de resposta: influência conjunta dos fatores gestão da empresa e colaboradores

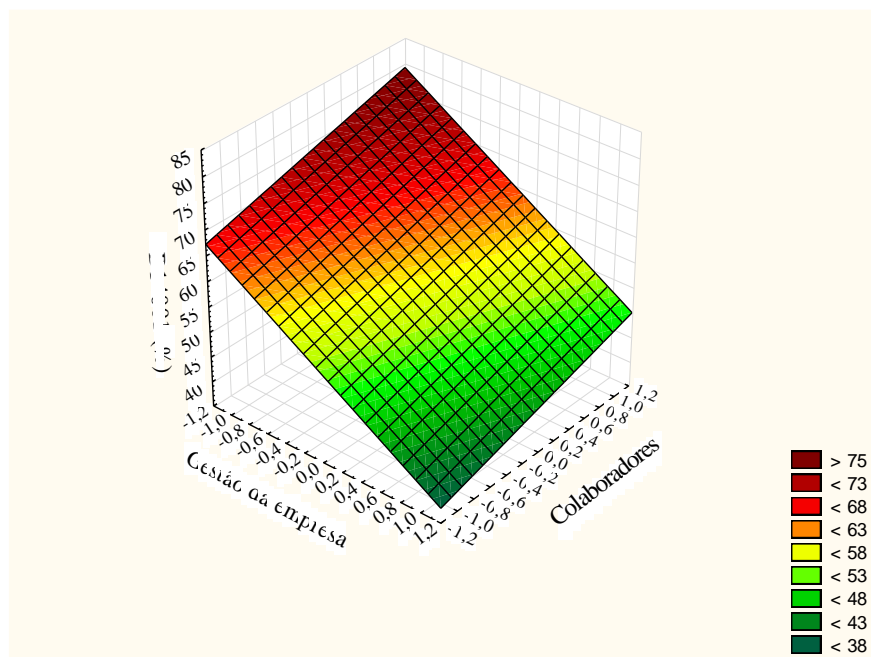
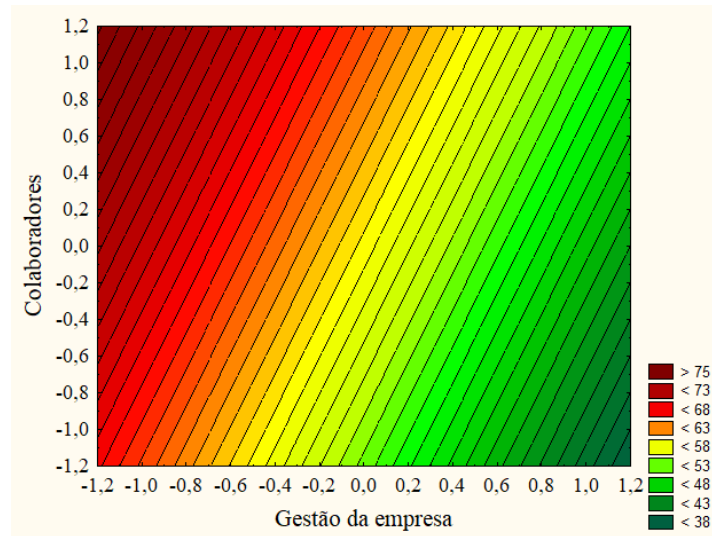


Figura 35: Curvas de nível: influência conjunta dos fatores gestão da empresa e colaboradores



Verificou-se neste item (4.3.3) que o fator gestão da empresa (Eq. 4.6) foi o que mais influências exerceu sobre as dificuldades observadas na implantação e certificação da ISO 14001. Identificou-se que as principais dificuldades de cada fator foram: cultura da empresa (gestão da empresa) e resistência da equipe a mudanças (colaboradores).

As dificuldades identificadas também foram apontadas parcialmente por Murmura et al (2018) como resultado de uma pesquisa com 190 companhias na Itália e por Mazzi et al. (2016) como resultado de uma pesquisa conduzida na Itália envolvendo aproximadamente 2400 empresas certificadas de diversos setores. Não se encontrou estudos semelhantes para empresas do setor de Engenharia de Projetos.



## 5 CONCLUSÕES

Os resultados dos estudos sobre os fatores que motivaram, beneficiaram e dificultaram as empresas de engenharia de projeto a implantar e certificar os sistemas ISO 9001 e ISO 14001 permitiram concluir que:

- O modelo que teve melhor ajuste aos motivos da implantação e certificação da ISO 9001 foi o que apresentou linearidade entre os fatores *marketing*, operacional e financeiro com as respostas dos responsáveis pela gestão da qualidade das empresas pesquisadas. O fator que teve maior influência foi o operacional e os principais motivos o aumento da competitividade da empresa, a redução de custos e *marketing*.
- Para os benefícios obtidos pela implantação e certificação da ISO 9001 o modelo que melhor se ajustou foi o que apresentou uma relação quadrática entre os fatores financeiro, *marketing* e operacional com as respostas dos entrevistados. Os fatores operacional e financeiro foram os que mais influíram e os principais benefícios obtidos foram o menor número de queixas de clientes, a melhor reputação da empresa, maior confiabilidade da empresa, acesso a novos mercados, melhor relacionamento com clientes, aumento das vendas e lucros e redução dos custos de construção e montagem.
- No caso das dificuldades encontradas durante a implantação e certificação da ISO 9001 o modelo que apresentou o melhor ajuste teve uma relação linear entre os fatores gestão da empresa e colaboradores e as respostas das empresas estudadas. O fator gestão da empresa foi o que maior influência exerceu e as principais dificuldades encontradas foram a cultura das empresas e a resistência da equipe a mudanças.
- Na implantação e certificação da ISO 14001 o modelo que teve melhor ajuste apresentou uma relação linear entre os fatores *marketing*, operacional e financeiro com as respostas dos responsáveis pela gestão ambiental das empresas estudadas. O fator *marketing* foi o que exerceu maior influência sobre a decisão de implantar a ISO 14001 e os principais motivos foram atender aos requisitos dos clientes, inserção no mercado internacional e consciência ambiental da empresa.
- Quanto aos benefícios obtidos pela ISO 14001, o modelo que teve melhor ajuste apresentou linearidade entre os fatores *marketing*, financeiro e operacional e as respostas dos entrevistados. O fator que teve maior influência foi o operacional e os principais benefícios foram a melhor reputação da empresa, redução dos custos internos pelo uso racional de recursos e melhor comunicação interna.

- O modelo que teve melhor ajuste às dificuldades encontradas na implantação e certificação da ISO 14001 também foi o que apresentou linearidade entre os fatores gestão da empresa e colaboradores com as respostas dos gerentes das empresas participantes da pesquisa. O fator gestão da empresa foi o que maior influência exerceu e os principais motivos foram a cultura da empresa e a resistência da equipe a mudanças, ou seja, os mesmos observados no caso da ISO 9001.
- A principal contribuição deste trabalho foi a obtenção de modelos matemáticos utilizando planejamento fatorial e o método dos mínimos quadrados, que, para sua aplicação, necessitam amostras muito menores que as requeridas pelo método de equações estruturais, comumente utilizado na área de ciências sociais aplicadas.

### **5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- Aplicar a modelagem utilizando planejamento fatorial que reduz significativamente o tamanho da amostra sem perder a significância estatística dos dados;
- Testar as mesmas técnicas em outros sistemas de gestão normalizados como a ISO 45001, ABNT NBR 16001 e ISO 22000.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, D.; PRADHAN, N.; MUNIZ JR, J. Assessment of ISO 9001:2015 implementation factors based on AHP: Case study in Brazilian automotive sector. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 35, n. 7, p. 1343–1359, 2018.

ALMEIDA, S. dos S.; ALVES, W. L. A.; ARAÚJO, S. A.; SANTANA, J. C. C.; NARAIN, N.; SOUZA, R. R. Use of simulated annealing in standardization and optimization of the acerola wine production. **Food Science and Technology**, v. 34, n. 2, p. 292–297, 2014.

ALTIN, S.; ALTIN, A. A study on the expectancies and benefits of companies from the ISO 14001 certification process. **Global Journal on Advances in Pure & Applied Sciences**, v. 3, p. 23–29, 2014.

ALZHRANI, J. I.; EMSLEY, M. W. The impact of contractors' attributes on construction project success: a post construction evaluation. **International Journal of Project Management**, v. 31, n. 2, p. 313–322, 2013.

AQUINO, A. T. de; MELO, R. M. de. Multicriteria model for selecting TQM consultancy and certification services. **Benchmarking: An International Journal**, v. 23, n. 7, p. 1736–1750, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 9000: Sistemas de gestão da qualidade - Fundamentos e vocabulário. Rio de Janeiro, 2015a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9001: Sistemas de gestão da qualidade - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2015b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14001: Sistemas da gestão ambiental - Requisitos com orientação para uso. Rio de Janeiro, 2015c.

BARROS NETO, B. de; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: Aplicações na Ciência e na Indústria**. Bookman, 2010.

BERNARDO, M.; CASADESÚS, M.; KARAPETROVIC, S.; HERAS, I. How integrated are environmental, quality and other standardized management systems? An empirical study. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 8, p. 742-750, 2009.

BLOOM, P. N.; KOTLER, P.; HAYES, T. **Marketing de Serviços Profissionais**. Manole, 2002.

BOUNABRI, N.; EL OUNRI, A. A. A.; SAAD, E.; ZERROUK, L., IBNLFASSI, A. Barriers to ISO 9001 implementation in Moroccan organizations: Empirical study. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 11, n. 1, p. 34, 2018.

CAMPANA, A. N. N. B.; TAVARES, M. da C. G.; SILVA, D. da. Modelagem de Equações Estruturais: Apresentação de uma abordagem estatística multivariada para pesquisas em Educação Física. **Motricidade**, v. 5, n. 4, 2009.

CÂNDIDO, C. J. F.; COELHO, L. M. S.; PEIXINHO, R. M. T. The financial impact of a withdrawn ISO 9001 certificate. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 36, n. 1, p. 23–41, 2016.

CARMONA-CALVO, M. A.; SUÁRES, E. M.; CALVO-MORA, A.; PERIAÑES-CRITÓBAL, R. Sistemas de gestión de la calidad: un estudio en empresas del sur de España y norte de Marruecos. **European Research on Management and Business Economics**, v. 22, n. 1, p. 8–16, 2016.

CASADESÚS, M.; KARAPETROVIC, S. The erosion of ISO 9000 benefits: a temporal study. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 22, n. 2, p. 120–136, 2005.

CASTKA, P. Modelling firms' interventions in ISO 9001 certification: A configurational approach. **International Journal of Production Economics**, v. 201, p. 163–172, 2018.

CLARK, C. **The conditions of economic progress**. 3e. London: MacMillan, 1957.

COVA, B.; GHAURI, P.; SALLE, R. **Project Marketing: Beyond Competitive Bidding**. London: Wiley, 2002.

DE VAUS, D. A. **Surveys in social research**. 5e Crows Nest, NSW: Allen & Unwin, 2014.

Del CASTILLO-PECES, C.; MERCADO-IDOETA, C; PRADO-ROMAN, M.; del CASTILLO-FEITO, C. The influence of motivations and other factors on the results of implementing ISO 9001 standards. **European Research on Management and Business Economics**, v. 24, n. 1, p. 33–41, 2018.

DEPEXE, M. D.; PALADINI, E. P. Motivações para a certificação de sistemas de gestão da qualidade em empresas construtoras. **P&D em Engenharia de Produção, Itajubá**, v. 10, p. 1–10, 2012.

DINSMORE, P. C.; SILVEIRA NETO, F. H. Gerenciamento de projetos: como gerenciar seu projeto com qualidade, dentro do prazo e custos previstos. Qualitymark, 2004.

FARIAS, S. A. de; SANTOS, R. da C. Modelagem de equações estruturais e satisfação do consumidor: uma investigação teórica e prática. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 4, n. 3, p. 107–132, 2000.

FINEP. Workshop engenharia de projeto no país: relatório final. Financiadora de Estudos e Projetos, 2012.

FORZA, C. Survey research in operations management: a process-based perspective. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 152–194, 2002.

FRANCO, M. A. C.; SANTANA, J. C. C. Integração de sistemas de gestão normalizados: uma avaliação em empresas de engenharia consultiva. **Revista Eletrônica Gestão & Saúde**, v. 6, p. 1025–1039, 2015.

CAMPANA, Angela Nogueira Neves Betanho; TAVARES, Maria da Consolação Gomes; SILVA, Dirceu Da. Modelagem de Equações Estruturais: Apresentação de uma abordagem estatística multivariada para pesquisas em Educação Física. **Motricidade**, [s. l.], v. 5, n. 4, 2009. Disponível em: <<http://revistas.rcaap.pt/motricidade/article/view/170>>. Acesso em: 29 abr. 2019.

FARIAS, Salomão Alencar De; SANTOS, Rubens da Costa. Modelagem de equações estruturais e satisfação do consumidor: uma investigação teórica e prática. **Revista de Administração Contemporânea**, [s. l.], v. 4, n. 3, p. 107–132, 2000.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise Multivariada de Dados**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HERAS-SAIZARBITORIA, I.; ARANA LANDÍN, G.; MOLINA-AZORÍN, J. F. Do drivers matter for the benefits of ISO 14001? **International Journal of Operations & Production Management**, v. 31, n. 2, p. 192–216, 2011.

HIKICHI, S. E.; SALGADO, E. G.; BEIJO, L. A. Forecasting number of ISO 14001 certifications in the Americas using ARIMA models. **Journal of Cleaner Production**, v. 147, p. 242–253, 2017.

HO, L. L. Levantamento tipo survey. In: MIGUEL, P. A. C. (Ed.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

HORA, H. R. M; MONTERIO, G. T. R.; ARICA, J. Confiabilidade em questionários para qualidade: um estudo com o coeficiente alfa de Cronbach. **Produto & Produção**, v. 11, n. 2, p. 85-103, 2010.

ISO. **The ISO Survey of Management System Standard Certifications**, International Organization for Standardization, 2017.

JAVORCIK, B.; SAWADA, N. The ISO 9000 certification: Little pain, big gain? **European Economic Review**, v. 105, p. 103–114, 2018.

KARAPETROVIC, S. Musings on integrated management systems. **Measuring Business Excellence**, v. 7, n. 1, p. 4–13, 2003.

KARAPETROVIC, S.; CASADESÚS, M. Implementing environmental with other standardized management systems: scope, sequence, time and integration. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 5, p. 533-540, 2009.

KENG, T. C.; KAMAL, S. Z. Implementation of ISO quality management system in construction companies of Malaysia. **Journal of Technology Management and Business**, v. 03, n. 01, p. 1–23, 2016.

KERZNER, H. **Gestão de projetos: as melhores práticas**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

KEUSCH, F. Why do people participate in Web surveys? Applying survey participation theory to Internet survey data collection. **Management Review Quarterly**, [s. l.], v. 65, n. 3, p. 183–216, 2015.

KHURI, A. I.; CORNELL, J. A. **Response Surfaces: Designs and Analyses**. Taylor & Francis, 1996.

KLEPA, R. B.; MEDEIROS, M. F.; FRANCO, M. A. C.; TAMBERG, E. T.; FARIAS, T. M. de B.; PASCHOALIN FILHO, J. A.; BERSANETI, F. T.; SANTANA, J. C. C. Reuse of construction waste to produce thermoluminescent sensor for use in highway traffic control. **Journal of Cleaner Production**, v. 209, p. 250–258, 2019.

LINDLBAUER, I.; SCHREYÖGG, J.; WINTER, V. Changes in technical efficiency after quality management certification: A DEA approach using difference-in-difference estimation with genetic matching in the hospital industry. **European Journal of Operational Research**, v. 250, n. 3, p. 1026–1036, 2016.

MAEKAWA, R.; CARVALHO, M. M. D.; OLIVEIRA, O. J. D. Um estudo sobre a certificação ISO 9001 no Brasil: mapeamento de motivações, benefícios e dificuldades. **Gestão & Produção**, p. 763–779, 2013.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2010.

MARIMON, F.; CASADESÚS, M.; HERAS, I. Certification intensity level of the leading nations in ISO 9000 and ISO 14000 standards. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 27, n. 9, p. 1002–1020, 2010.

MARTINS, R. A. Abordagens quantitativa e qualitativa. In: MIGUEL, P. A. C. (Ed.). **Metodologia de Pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

MAZZI, A.; TONIELO, S.; MASON, M.; AGUIARI, F.; SCIPIONI, A. What are the benefits and difficulties in adopting an environmental management system? The opinion of Italian organizations. **Journal of Cleaner Production**, v. 139, p. 873–885, 2016.

MIRANDA, A. C.; SILVA FILHO, S. C. da; TAMBOURGI, E. B.; SANTANA, J. C. C.; VANALLE, R. M.; GUERHARDT, F. Analysis of the costs and logistics of biodiesel production from used cooking oil in the metropolitan region of Campinas (Brazil). **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 88, p. 373–379, 2018.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. 8. ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc, 2013.

MURMURA, F.; LIBERATORE, L.; BRAVI, L.; CASOLANI, N. Evaluation of Italian Companies' Perception About ISO 14001 and Eco Management and Audit Scheme III: Motivations, Benefits and Barriers. **Journal of Cleaner Production**, v. 174, p. 691–700, 2018.

MYERS, R. H.; MONTGOMERY, D. C.; ANDERSON-COOK, C. M. **Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments**: Wiley, 2009.

NUNES, G. F.; GUIDONI, L. M.; ZANDONADE, E; NEGRI, L. D. S. A; MACIEL, E. L. N. Cross-cultural adaptation of the instrument “tool to estimate patient’s costs” in priority municipalities of Brazil in tuberculosis control. **Escola Anna Nery**, v. 22, n. 4, 2018.

OLIVEIRA, O. J. De; SERRA, J. R.; SALGADO, M. H. Does ISO 14001 work in Brazil? **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 18, p. 1797–1806, 2010.

PADILHA, E. **Marketing para engenharia e arquitetura**. 8e Camburiú, SC: Editora 893, 2012.

PINTO, J. K.; SLEVIN, D. P.; ENGLISH, B. Trust in projects: an empirical assessment of owner/contractor relationships. **International Journal of Project Management**, v. 27, n. 6, p. 638-648, 2009.

PLONSKI, G. A. **As Empresas De Serviços De Engenharia No Brasil: Do Cad à Engemática**. 1987. Tese - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

PMI-PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (Guia PMBOK)**. Pennsylvania: Project Management Institute, Inc., 2013.

PRADO, D. **Gerenciamento de projetos de capital**. Nova Lima, MG: Falconi Editora, 2014.

RANKING DA ENGENHARIA BRASILEIRA: 500 GRANDES DA CONSTRUÇÃO. **O Empreiteiro**, p. 154–162, 2016.

RATHMELL, J. M. **Marketing in the service sector**. Cambridge, Mass.: Winthrop Publishers, 1974.

REA, L. M.; PARKER, R. A. **Metodologia de Pesquisa - do planejamento à execução**. São Paulo: Pioneira, 2000.

RIBEIRO NETO, J. B. M.; TAVARES, J. Da cunha; HOFFMANN, S. C. **Sistemas de Gestão Integrados** Editora Senac, 2012.

SABBATINI, R. **Relatório engenharia consultiva no Brasil: desafios e oportunidades**. Brasília: ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2011.

SALOMONE, R. Integrated management systems: experiences in Italian organizations. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, n. 16, p. 1786–1806, 2008.

SAMPAIO, P.; SARAIVA, P.; GUIMARÃES RODRIGUES, A. ISO 9001 certification forecasting models. **International Journal of Quality & Reliability Management**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 5–26, 2011.

SANTANA, J. C. C.; FERREIRA, G. B.; BIAZUS, J. P. M.; SOUZA, R. R. de; TAMBOURGI, E. B. Biochemistry characterization of  $\alpha$  and  $\beta$  amylases from zea mays malt and statistical analysis approach of the degradation of manioc starch. **Journal of Food Process Engineering**, v. 31, n. 5, p. 694–710, 2008.

SANTANA, J. C. C.; ARAÚJO, S. A.; ALVES W. A. L.; BELAN, P. A.; JIANGANG, L.; JIANCHU C.; DONG-HONG, L. Optimization of vacuum cooling treatment of postharvest broccoli using response surface methodology combined with genetic algorithm technique. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 144, p. 209–215, 2018.

SANTANA, J. C. C.; EHRHARDT, D. D.; TAMBOURGI, E. B. Otimização da produção de álcool de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 3, p. 613–617, 2010.

SANTOS, C. M. G. DOS; AGUIAR, A. DE. O. E. ISO 14001 and international trade. **Independent Journal of Management & Production**, v. 10, n. 1, p. 022, 2019.

SARAIVA, P. M.; DUARTE, B. ISO 9000: Some statistical results for a worldwide phenomenon. **Total Quality Management & Business Excellence**, v. 14, n. 10, p. 1169–1178, 2003.

SARKAR, L. Pareto Analysis of the Engineering Related Quality Issues of Rural Electrification Projects. **International Journal of Engineering Development and Research**, v. 6, n. 3, p. 56–64, 2018.

SEBRAE - SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Anuário do trabalho nos pequenos negócios - 2015**, 2017.

SIMON, A.; KARAPETROVIC, S.; CASADESUS, M. Evolution of Integrated Management Systems in Spanish firms. **Journal of Cleaner Production**, v. 23, n. 1, p. 8–19, 2012.

SINAENCO. **Perfil Arquitetura & Engenharia Consultiva 2017**, Sindicato Nacional das Empresas de Arquitetura e Engenharia Consultiva, 2017.

TAVAKOL, M.; DENNICK, R. Making sense of Cronbach's alpha. **International Journal of Medical Education**, v. 2, p. 53–55, 2011.

VIADIU, F. M.; FA, M. C.; SAIZARBITORIA, I. H. ISO 9000 and ISO 14000 standards: an international diffusion model. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 26, n. 2, p. 141–165, 2006.



## **APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO**

## Sistemas de gestão normalizados

Solicito sua colaboração para uma pesquisa acadêmica que trata da utilização de sistemas de gestão da qualidade e do meio ambiente por empresas de engenharia de projeto e consultoria. No momento colete sobre os motivos que levam as empresas a implantar a ISO 9001 e 14001, os benefícios obtidos e as dificuldades encontradas.

O propósito desta pesquisa é tornar o conhecimento obtido acessível tanto às empresas do setor quanto ao meio acadêmico incentivando novos estudos sobre o tema

Ressalto que as informações prestadas por todos os participantes serão tratadas de forma estritamente confidencial e que a apresentação dos resultados desta pesquisa não possibilitará a identificação das pessoas ou empresas envolvidas.

Obrigado,  
Marco Antonio.  
[mafranco@outlook.com](mailto:mafranco@outlook.com)

## Perfil da empresa

Assinale as opções aplicáveis

### 1. Em quais áreas a empresa atua?

*Check all that apply.*

- Arquitetura e urbanismo;
- Consultoria ambiental;
- Construção civil;
- Engenharia civil;
- Gerenciamento de projeto;
- Instalação predial;
- Linhas de transmissão de energia;
- Montagem eletromecânica;
- Projeto de instalação industrial;
- Recursos hídricos;
- Saneamento;
- Termoeletrica;
- Other: \_\_\_\_\_

**2. Qual a principal área de atuação?***Mark only one oval.*

- Arquitetura e urbanismo.
- Consultoria ambiental.
- Construção civil.
- Engenharia civil.
- Gerenciamento de projeto.
- Instalação predial.
- Linhas de transmissão de energia.
- Montagem eletromecânica.
- Projeto de instalação industrial.
- Projetos EPC.
- Recursos hídricos.
- Saneamento.
- Termoelétrica.
- Other:

**3. Em quais setores a empresa atua?***Check all that apply.*

- Alimentos;
- Energia;
- Farmacêutico;
- Industrial;
- Mineração e metalurgia;
- Óleo e gás;
- Papel e celulose;
- Química e petroquímica;
- Telecomunicação;
- Other: \_\_\_\_\_

**4. Qual o principal setor de atuação?***Mark only one oval.*

- Alimentos.
- Energia.
- Farmacêutico.
- Industrial.
- Mineração e metalurgia.
- Óleo e gás.
- Papel e celulose.
- Química e petroquímica.
- Telecomunicação.
- Other:

**5. Em que mercado a empresa atua?***Check all that apply.*

- Regional;
- Nacional;
- Internacional;

**6. Origem do capital da empresa***Mark only one oval.*

- Nacional.
- Internacional.
- Majoritariamente nacional.
- Majoritariamente internacional.
- Other:

**Comentários**

---

Se julgar necessário adicione informações que completem a pesquisa

7.

.....

.....

.....

.....

.....

**Sistemas de gestão normalizados**

**8. Quais sistemas normalizados de gestão estão implantados na empresa?**

*Check all that apply.*

- NBR ISO 9001;  
 NBR ISO 14001;  
 OHSAS 18001/NBR ISO 45001;  
 SA 8000;  
 NBR 16001;  
 Other:

**9. Se a empresa é certificada pela NBR 9001, por favor, informe o ano da primeira certificação.**

.....

**10. Se a empresa é certificada pela NBR 14001, por favor, informe o ano da primeira certificação.**

.....

**11. Se a empresa é certificada pela OHSAS 18001/ NBR ISO 45001, por favor, informe o ano da primeira certificação.**

.....

.....

.....

.....

**12. Se a empresa é certificada pela SA 8000, por favor, informe o ano da primeira certificação.**

.....

**13. Se a empresa é certificada pela NBR 16001, por favor, informe o ano da primeira certificação.**

.....

**Sistema de gestão da qualidade - ISO 9001**

Se a empresa adota o sistema de gestão da qualidade ISO 9001, por favor, responda as questões abaixo

**Motivos para a implantação e certificação da ISO 9001.**

Qual a sua opinião a respeito dos motivos que podem ter levado a empresa a adotar a ISO 9001?

14. Mark only one oval per row.

	concordo totalmente	concordo parcialmente	indiferente	discordo parcialmente	discordo totalmente
atender aos requisitos do cliente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
inserção no mercado internacional	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
novas oportunidades de negócio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
imagem da empresa no mercado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
aumento da competitividade da empresa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
visão estratégica da empresa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
vantagens de marketing	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
pressão dos grupos de interesse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
redução de custos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### Benefícios obtidos pela implantação e certificação da ISO 9001.

Qual sua opinião a respeito dos benefícios que a empresa obteve após a implantação e certificação da ISO 9001?

15. Mark only one oval per row.

	concordo totalmente	concordo parcialmente	indiferente	discordo parcialmente	discordo totalmente
aumento das vendas e lucros	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
menor número de queixas de clientes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
aumento das exportações de serviços	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
melhor reputação da empresa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
maior confiabilidade da empresa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
redução dos problemas com qualidade	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
melhor atendimento dos prazos de entrega	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
redução das revisões de projeto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
redução dos custos diretos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
redução das auditorias do cliente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
aumento das vantagens competitivas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
maior concientização dos funcionários	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
acesso a novos mercados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
melhor relacionamento com clientes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
melhor comunicação interna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
redução dos custos de construção e montagem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### **Dificuldades observadas na implantação e certificação da ISO 9001.**

Qual a sua opinião a respeito das dificuldades encontradas na implantação e certificação da ISO 9001?

16. Mark only one oval per row.

	concordo totalmente	concordo parcialmente	indiferente	discordo parcialmente	discordo totalmente
cultura da empresa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
foco a certificação e não no sistema	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
baixo compromisso da alta gestão	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
uso do processo de auditoria interna em desacordo com a norma	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
escassez de recursos humanos capacitados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
pouca familiaridade da equipe com a norma	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
resistência da equipe às mudanças	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**O custo da implantação da ISO 9001 foi maior que o previsto?**

17. Mark only one oval.

- Sim  
 Não

**Comentários**

Se julgar necessário adicione informações que completem a pesquisa

18.

.....

.....

.....

.....

.....

**Sistema da gestão ambiental - ISO 14001.**

Se a empresa adota o sistema da gestão ambiental ISO 14001, por favor, responda as questões abaixo



**Motivos para a implantação e certificação da ISO 14001.**

Qual a sua opinião a respeito dos motivos que podem ter levado a empresa a adotar a ISO 14001?

19. Mark only one oval per row.

	concordo totalmente	concordo parcialmente	indiferente	discordo parcialmente	discordo totalmente
atender as regulamentações ambientais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
atender aos requisitos dos clientes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
inserção no mercado internacional	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
novas oportunidades de negócio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
consciência ambiental da empresa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
pressão dos grupos de interesse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
melhoria global de desempenho ambiental	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
visão estratégica da empresa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
corresponsabilidade civil e penal em sanções aplicadas ao cliente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
vantagens de marketing	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
redução de custos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Benefícios obtidos pela implantação da ISO 14001.**

Qual sua opinião a respeito dos benefícios que a empresa obteve após a implantação e certificação da ISO 14001?

20. Mark only one oval per row.

	concordo totalmente	concordo parcialmente	indeciso	discordo parcialmente	discordo totalmente
redução de custos do cliente pelo uso racional dos recursos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
redução de custo interno pelo uso racional de recursos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
melhor reputação da empresa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
redução de prêmios de seguro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
aumento da eficiência da empresa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
mais facilidade na obtenção de financiamento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
redução de não conformidades nas auditorias	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
conscientização ambiental dos funcionários	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
acesso a novos mercados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
melhor relacionamento com clientes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
melhor comunicação interna	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
redução das auditorias dos clientes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### Dificuldades observadas na implantação e certificação da ISO 14001.

Qual a sua opinião a respeito das dificuldades encontradas na implantação e certificação da ISO 14001?

21. Mark only one oval per row.

	concordo totalmente	concordo parcialmente	indiferente	discordo parcialmente	discordo totalmente
cultura da empresa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
foco na certificação e não no sistema	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
uso de processo de auditoria interna em desacordo com a norma	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
baixo compromisso da alta gestão	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
escassez de recursos humanos capacitados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
pouca familiaridade da equipe com a norma	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
resistência da equipe às mudanças	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**O custo de implantação da ISO 14001 foi maior que o previsto?**

22. Mark only one oval.

- Sim  
 Não

### Comentários

Se julgar necessário adicione informações que completem a pesquisa.

23.

.....

.....

.....

.....

.....

### Informações complementares

Gostaria de fazer algumas perguntas para determinar o porte da empresa.

**24. Número de funcionários da empresa.***Mark only one oval.*

- Menor ou igual a 19 empregados.
- Entre 20 e 99 empregados.
- Entre 100 e 499 empregados.
- Maior que 500 empregados.

**25. Duração média dos projetos executados pela empresa.***Mark only one oval.*

- Menor que 1 ano.
- Entre 1 ano e dois anos.
- Entre dois anos e tres anos.
- Entre três nos e quatro anos.
- Maior que 4 anos.

**26. Principais clientes.***Check all that apply.*

- Órgãos governamentais brasileiros;
- Órgãos governamentais do exterior;
- Empresas de economia mista brasileira;
- Empresas de economia mista do exterior;
- Empresas de capital privado nacional;
- Empresas de capital privado multinacional;

**27. Receita anual bruta da empresa***Mark only one oval.*

- Menor que R\$ 2.400.000,00.
- Maior que R\$ 2.400.000,00 e menor que R\$16.000.000,00.
- Maior que R\$ 16.000.000,00 e menor que R\$ 90.000.000,00.
- Maior que r\$ 90.000.000,00 e menor R\$ 300.000.000,00.
- Maior que R\$ 300.000.000,00.

**28. Razão social da empresa.**

.....

.....

.....

.....

.....

## Comentários

---

Por favor, se julgar necessário adicionar informações que completem a pesquisa

29.

.....

.....

.....

.....

.....

## Sobre os participantes

Para concluir, gostaria de fazer algumas perguntas para caracterizar o grupo de pessoas que participara desta pesquisa.

30. Quer receber uma cópia do resultado final desta pesquisa?

Mark only one oval.

- Sim
- Não

31. Seu nome:

.....

32. Seu e-mail

.....

33. Sua formação

Mark only one oval.

- Engenharia.
- Técnica de nível superior.
- Técnica de nível médio.
- Administração de empresas.
- Economia.
- Ciências humanas.
- Ciências sociais.
- Other: \_\_\_\_\_

**34. Há quanto tempo atua na empresa:***Mark only one oval.*

- Menos de 2 anos.  
 Entre 2 e 5 anos.  
 Entre 5 e 10 anos.  
 Entre 10 e 20 anos.  
 Mais que 20 anos.

**35. Há quanto tempo trabalha com engenharia de projetos?***Mark only one oval.*

- Menos de 2 anos.  
 Entre 2 e 5 anos.  
 Entre 5 e 10 anos.  
 Entre 10 e 20 anos.  
 Mais que 20 anos.

**36. Qual sua função na empresa?***Mark only one oval.*

- Diretor.  
 Gerente.  
 Cargo não gerencial.  
 Lider funcional.  
 Lider de projeto.  
 Other:

**Comentários**

---

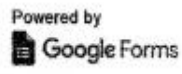
Por favor, se julgar necessário adicione informações que completem a pesquisa.

37.

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**Muito obrigado por sua atenção e paciência. Sua  
colaboração é de grande importância para esta pesquisa.**

---



## APÊNDICE B - PUBLICAÇÕES DURANTE O PROGRAMA DE DOUTORADO

### ARTIGOS PUBLICADOS EM REVISTAS CIENTÍFICAS

KLEPA, R. B.; MEDEIROS, M. F.; **FRANCO, M. A. C.**; TAMBERG, E. T.; FARIAS, T. M. de B.; PASCHOALIN FILHO, J. A.; BERSSANETI, F. T.; SANTANA, J. C. C. Reuse of construction waste to produce thermoluminescent sensor for use in highway traffic control. *Journal of Cleaner Production*, v. 209, p. 250–258, 2019.

OLIVEIRA, D. E. P.; MIRANDA, A. C.; KLEPA, R. B.; **FRANCO, M. A. C.**; SILVA FILHO, S. C.; SANTANA, J. C. C. Análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental da produção de energia a partir da incineração dos resíduos sólidos urbanos na cidade de São Paulo. *INTERCIENCIA*, v. 43, p. 778-783, 2018.

MIRANDA, A. C.; PRAZERES, K. C.; KLEPA, R. B.; **FRANCO, M. A. C.**; SILVA FILHO, S. C.; Santana, J. C. C. Avaliação do conhecimento dos consumidores de cidades da Grande SP, sobre os impactos causados pelo descarte incorreto de medicamentos. *INTERCIENCIA*, v. 43, p. 580-584, 2018.

### TRABALHOS APRESENTADOS EM EVENTOS CIENTÍFICOS

**FRANCO, M. A. C.**; SANTANA, J. C. C.; ARANTES, F. S. Benefícios da certificação ISO 9001 em empresas de engenharia de projeto e consultoria. In: XXXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2018, Maceió - AL. Anais do XXXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - ENEGEP 2018. São Carlos - SP: Galoá, 2018. v. 1. p. 1-8.





ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Cleaner Production

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jclepro](http://www.elsevier.com/locate/jclepro)

## Reuse of construction waste to produce thermoluminescent sensor for use in highway traffic control



Rogério Bonette Klepa<sup>a</sup>, Mágilla Feitosa Medeiros<sup>b</sup>, Marco Antonio Cortellazzi Franco<sup>a</sup>, Edgar Tivelli Tamberg<sup>a</sup>, Thiago Michel de Brito Farias<sup>c</sup>, João Alexandre Paschoalin Filho<sup>b</sup>, Fernando Tobal Berssaneti<sup>a,d,\*</sup>, José Carlos Curvelo Santana<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Industrial Engineering Post Graduation Program, Nine July University, Vergueiro Street, 235/249, Liberdade, Zip Code: 01504-000, São Paulo, SP, Brazil

<sup>b</sup> Sustainable Cities Post Graduation Program, Nine July University, Vergueiro Street, 235/249, Liberdade, Zip Code: 01504-000, São Paulo, SP, Brazil

<sup>c</sup> Department of Marine Science, Federal University of São Paulo, Central Building, Silva Jardim Street, 136, Vila Matias, Zip Code: 11015-020, Santos, SP, Brazil

<sup>d</sup> Department of Production Engineering, University of São Paulo, Prof. Almeida Prado Avenue, 128, Butantã, Zip Code: 05508-070, São Paulo, SP, Brazil

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 24 May 2018

Received in revised form

28 August 2018

Accepted 21 October 2018

Available online 22 October 2018

#### Keywords:

Ecological cost accounting

Construction waste

Zinc oxide

Traffic sensor

Photoluminescence energy

### ABSTRACT

Brazil's construction industry contributes significantly to growth of the nation's gross domestic product, but it is also among the world's largest generators of construction waste (CW), which, if not properly disposed of, can have a significant impact on the environment. A proposal for the recycling and reduction of construction waste is presented in this paper. This work aimed to produce a traffic orientation sensor by reusing CW and demonstrate the economic and environmental viability of the process. A 2<sup>2</sup> factorial planning was done varied ceramic and masonry CW content (0–5.5%) and they were mixed with 5 M ZnO pure to obtain CW-ZnO sensor by sol-gel method. The CW-ZnO samples were irradiated in a sealed chamber equipped with a UV lamp and the TL reader was used to measure luminescence and set their glow curves. Results showed that the best condition for obtaining the CW-ZnO sensor was found using 1% ceramic CW and 1% masonry CW, which yielded 80% of the luminescence of pure ZnO. However, the CW blend that presented the lowest luminescence yield suggests that the material can be used as an alternative to obtaining a photovoltaic cell. The proposed sensor is three times cheaper than the luminescence standard with revenues by US\$ 970 thousand and profits by US\$ 242 thousand per month. Thus, this work demonstrates the possibility of reusing CW to produce a traffic sensor helps mitigate the environmental impact of construction waste disposal in an economically viable way.

© 2018 Elsevier Inc. All rights reserved.

## 1. Introduction

### 1.1. Waste management in building constructions

Due to growing concerns about environmental issues and scarcity of natural resources, the construction industry is compelled to explore new concepts and technical solutions aimed at ensuring environmental sustainability. The construction industry is one of the key drivers of any nation's economy; it makes

considerable contribution to the gross national product and bears significant impact on the local and regional economies as large infrastructure projects such as roadworks can infuse employment and business opportunities into a region (Wang et al., 2018). Adams et al. (2017) commented on the growing use of material resources as human population expands and income levels rise. Consequently, several material resources are likely to become scarcer and more expensive, and a significant number of them could be exhausted.

According to Esa et al. (2017), waste generation from construction and demolition works impacts the environment by way of high energy consumption, solid waste generation, pollution-related damages, and generation of greenhouse gas emissions. Waste disposal in large urban areas degrade the urban landscape and contaminate soil and water with dangerous materials such as

\* Corresponding author. Department of Production Engineering, University of São Paulo, Prof. Almeida Prado Avenue, 128, Butantã, Zip Code: 05508-070, São Paulo SP, Brazil.

E-mail addresses: [fernandotb@uni9.pro.br](mailto:fernandotb@uni9.pro.br), [fernando.berssaneti@usp.br](mailto:fernando.berssaneti@usp.br) (F.T. Berssaneti), [jccurvelo@uni9.pro.br](mailto:jccurvelo@uni9.pro.br) (J.C.C. Santana).

asbestos and volatile organic compounds (De Magalhães et al., 2017).

The construction industry produces significant quantities of waste and other seemingly unusable materials that are easily discarded as solid waste. The US generated an estimated 170 million tons of building-related waste in 2003. China generated approximately 1.13 billion tons of CW in 2014, representing a decline from the quantity produced during the peak construction period of the early 2010s (Lu et al., 2017). However, contradicting official data, a recent study estimates that the amount of construction and demolition waste generated in China amounts to 2–3 billion tons per year (Wang et al., 2018). In the UK, the construction industry accounts for about 32% of the total landfill waste and 25% of all raw material consumption (Lu et al., 2017).

Esa et al. (2017) noted that the UK generated 200 million tons of waste in 2012, half of which came from construction and demolition works. The authors also reported that Malaysia has a daily CW production of about 26,000 tons. According to Silva et al. (2017), the US Environmental Protection Agency estimates that the country produces 170 million tons per year of construction and demolition waste. Brazil generated about 45 million tons of CW in 2015, which is equivalent to 57% of the total solid waste produced in the country (ABRELPE, 2016); the proportion is likely higher as official estimates account only for waste dumped or abandoned in public places.

According to Moreira et al. (2012), the civil construction industry in Brazil has been adopting environmentally sustainable approaches in its activities due to the prominent role this sector plays in the nation's economic development. According to Paschoalin Pascholin Filho et al. (2016), the civil construction industry is of great importance to Brazil's development. It is estimated that this sector generates investments exceeding US\$ 90 billion per year and creates 62 indirect jobs for every 100 direct jobs. The civil construction industry in Brazil also plays an important social role by contributing directly to the reduction in housing infrastructure deficits, a mitigation that is essential for national progress.

According to Thongkamsuk et al. (2017), about 13–30% of all solid waste deposition in landfills worldwide comprise construction and demolition waste, and the main generators of CW are residential buildings, contributing almost 70% to the total. Pozas and González (2018) claim that one of the factors for generation of demolition waste is the replacement of old buildings with modern residences, a trend the authors view as an abandonment of cultural heritage.

Contractors are responsible for maintaining a sanitary work environment and for disposal of waste from their work areas. Since their presence at a site is limited to the period of construction, contractors primarily dispose of CW by hauling it away from the work site with little regard to the long-term repercussions of their actions. As the focus of compliance at most construction sites is on the maintenance of a sanitary work environment, waste management methods pertaining to reuse, recycling, and recovery of resources are not strictly followed (Sapuay, 2016).

Additionally, CW is generally bulkier, heavier, and occasionally more toxic than domestic waste. The disposal of CW in local sanitary landfills or dumpsites may appear to be a solution in the short term but could in fact aggravate the environmental consequences in the long run. In some instances, contractors resort to inappropriate or even illegal practices such as: (i) illegal dumping in deserted areas; (ii) concealment of garbage in wooded or forested areas; (iii) mixing of CW with domestic waste; (iv) burial in abandoned sites; (v) dumping of CW in waterways; and (vi) burning of CW (Wang et al., 2018).

Construction waste is one of the main types of waste produced

worldwide. According to Eurostat, the EU generated approximately 868 million tons of CW in 2014 and this accounted for 35% of its total solid waste, while Spain generated 20 million tons of CW that year, which was equivalent to 18% of the total solid waste generated in the country (Villoria Sáez et al., 2018).

Recycling and reusing solid wastes generated by construction activities are pragmatic management tools that are aligned with the concept of sustainability. These methods add economic value to waste and also reduce the cost of waste transportation to landfills for disposal. The civil construction industry can also reuse and recycle waste originating from other industrial sectors. This is because other industrial waste can replace, either partially or completely, the natural raw materials used in the manufacture of construction materials (Moreira et al., 2012). The construction market also demands the development of new building materials with increased strength and durability, lower impact, and better life cycle (Gorninski and Tonet, 2016).

Several countries have adopted specific legislation to encourage this trend (Menegaki and Damigos, 2018). German legislation governing CW management requires waste generators or owners to classify, recycle, and reuse CW. Spain's national legislation defines the obligations of all the parties involved in construction activities. The UK mandates onsite waste reduction through sorting and recycling. Taiwan began to monitor construction sites in 2005 and requires CW waste to be transported to treatment facilities. In Australia, a number of CW policies have been established by the state governments to promote onsite reuse of CW, implementation of sustainable building practices, and such other initiatives. In the US, federal and state highway contracts often specify the use of recycled materials in the construction of highways. Japan has mandated the recycling of certain demolition materials while in Brazil, the use of recycled aggregate is obligatory in paving works. In China, governmental policies are being developed at the state level, while regulations at the provincial level encourage the use of recycled materials in the foundation, road base, subgrade, and other building components. Similar laws exist in Hong Kong too (Menegaki and Damigos, 2018; Pappu et al., 2007).

The technique most commonly used in CW management is waste sorting, followed by crushing and reuse in other construction projects (Lai et al., 2016). According to Hossain et al. (2017), Hong Kong generated about 58 tons per day of CW waste in 2014, of which 93% was delivered to public fill reception facilities (for land reclamation). The remaining 7% was transported to landfills (for landfill disposal) and constituted 27% of the total landfilled waste in Hong Kong.

Taiwan generates about 1.2–1.9 million tons per year of CW. The reuse ratio of CW is about 64–80%. In 2014, the nation had 64 treatment and reuse facilities and treated 14.5 million tons of CW (Lu et al., 2017). Another example is Vietnam where construction activity is on an uptrend and was forecast to increase by nearly 50% between 2013 and 2018 (Lockrey et al., 2018). According to Leducq and Scarwell (2018), planning and management of urban development is the most effective approach to avoiding an increase in civil CW generation because of the limited free space available in the country.

## 1.2. Advances in technologies to minimise construction waste

One efficient way to manage and minimise CW is by using Building Information Modelling (BIM), which helps project participants improve processes and technologies across several project phases such as planning, design, construction, and demolition (Won and Cheng, 2017; Ding et al., 2018). The BIM identifies likely sources of waste generation before the start of the project and helps



## AVALIAÇÃO DO CONHECIMENTO DOS CONSUMIDORES DE DUAS CIDADES DA GRANDE SP, BRASIL, SOBRE OS IMPACTOS CAUSADOS PELO DESCARTE INCORRETO DE MEDICAMENTOS

Amanda Carvalho Miranda, Kelly Cristina dos Prazeres, Rogério Bonette Klepa, Marco Antonio Cortellazzi Franco, Silvério Catureba Silva Filho e José Carlos Curvelo Santana

### RESUMO

*O crescimento industrial farmacêutico e o descarte incorreto de medicamentos são grandes problemas, principalmente nas grandes cidades. A falta de comprometimento dos órgãos responsáveis em gerenciar os resíduos farmacêuticos e de um plano de conscientização da população, caracterizam um problema de saúde pública, bem como acarreta danos ambientais sérios. Os efeitos causados no meio ambiente são muitos, como por exemplo: a morte de espécies aquáticas pela toxicidade do efluente de esgoto, surgimento de bactérias resistentes, além de feminização de peixes com alterações de ecossistemas inteiros.*

*Entretanto, este assunto ainda não é discutido ou divulgado pelas organizações privadas e governamentais com o rigor de uma legislação vigente. O presente trabalho, utilizando a coleta de dados realizada com consumidores de produtos farmacêuticos nas cidades de Guarulhos e Itapevi, Grande São Paulo, Brasil, constatou que mais de 80% da população destas cidades descartam medicamento de forma indevida. Foi possível observar a necessidade de orientação adequada a população, em prol de ações que conscientizem e elucidem a gravidade deste problema.*

### Introdução

Com a crescente urbanização do país, ocorre o surgimento de doenças emergentes e junto com elas a produção e o consumo de medicamentos pela população. De acordo com o IMS Health (2016), as vendas no mercado farmacêutico mundial, ficaram em torno de US\$ 1068,8×10<sup>9</sup>. Em termos de ranking dos mercados mundiais, o Brasil, que ocupava o 10<sup>o</sup> lugar em 2010, passará para o 5<sup>o</sup> lugar em 2020. Em 2016, o Brasil representou quase 2,5% do mercado farmacêutico mundial. Esse

cenário favorável do crescimento nas vendas de medicamentos, é devido a um conjunto de fatores, o mais predominante é o envelhecimento da população da América Latina, onde mais de 150×10<sup>6</sup> pessoas terão mais de 50 anos em 2050.

Dados do IBGE (2017) apontam que na última década a população brasileira cresceu 6%, enquanto que a geração de resíduos aumentou 29%. Assim destaca-se o aumento da produção, velocidade de geração e concepção dos produtos, bem como as características 'não-degradáveis' dos resí-

duos gerados, aumentando a cada dia a diversidade de produtos com componentes e materiais de difícil degradação e maior toxicidade.

Considerando o crescimento populacional, a estimativa de vida cada vez maior, o consumo exacerbado de fármacos e o crescimento no setor farmacêutico, podemos nos perguntar, como é realizado o gerenciamento dos resíduos de medicamentos.

A principal forma de entrada de resíduo de medicamentos no meio ambiente é por meio do lançamento direto de medicamentos na rede de

esgotos domésticos tratados ou não em cursos de água. Também devem ser considerados os efluentes das indústrias farmacêuticas, efluentes rurais, a presença de fármacos no esterco animal utilizado para a adubação do solo e a disposição inadequada de fármacos após a expiração do prazo de validade (Eickhoff *et al.*, 2009).

Em 2010 foi implantada a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei 12.395/10, com a finalidade de estabelecer medidas coordenadas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2010) em discussão

### PALAVRAS CHAVE / Descarte de Medicamentos / Meio Ambiente / Toxicidade /

Recebido: 15/11/2017. Modificado: 16/07/2018. Aceito: 18/07/2018.

**Amanda Carvalho Miranda.** Graduada em Farmácia e Bioquímica, Mestre e Doutoranda em Engenharia de Produção, Universidade Nove de Julho (Uninove), Brasil. Docente, Uninove, Brasil. e-mail: mirandacal@hotmail.com

**Kelly Cristina dos Prazeres.** Licenciatura em Química e Pedagogia, Universidade Camilo Castelo Branco, Brasil. Mestre em Engenharia de Produção, Uninove, Brasil. Professora,

Uninove, Brasil. e-mail: prazeres\_kelly@hotmail.com

**Rogério Bonette Klepa.** Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Cidade de São Paulo, Brasil. Mestre e Doutorando em Engenharia de Produção, Uninove, Brasil. Professor, Uninove, Brasil. e-mail: klepao@gmail.com

**Marco Antonio Cortellazzi Franco.** Engenheiro Industrial Mecânico, Faculdade de Engenharia Industrial, Brasil.

Mestre e doutorando em Engenharia de Produção, Uninove, Brasil. e-mail: marfranco@uol.com.br

**Silvério Catureba Silva Filho.** Graduado em Engenharia Industrial Química, Escola de Engenharia de Lorena-USP, Brasil. Mestre e Doutor em Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Brasil. Professor, Uninove, Brasil. e-mail: silveorioscf@yahoo.com.br

**José Carlos Curvelo Santana.** Graduado em Química Industrial, Universidade Federal de Sergipe, Brasil. Mestre e Doutor em Engenharia Química, Unicamp, Brasil. Professor, Uninove, Brasil. Ende-reço: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Uninove. Av. Francisco Matarazzo, 612, CEP: 05001-100, Água Branca, São Paulo, SP, Brasil. e-mail: jccurvelo@uni9.pro.br

to (ETEs) não são eficientes na remoção destes resíduos, este tipo de contaminação torna-se mais preocupante já que estes efluentes são lançados diretamente em rios provocando a contaminação das águas superficiais (Bautitz, 2006). No estudo de Bila e Dezotti (2003), a ocorrência de fármaco residuais no esgoto doméstico e em águas naturais é um problema internacional que chamou a atenção de pesquisadores para o assunto, mostrando que esses fármacos estão presentes em ambientes aquáticos em várias partes do mundo.

Muitos estudos relatam a existência de fármacos em meio ambiente aquático da ordem de  $10^{-9}$  a  $10^{-6}$  ppm. Apesar de serem encontrados em baixas concentrações, estudos já comprovaram a capacidade de tais compostos provocarem efeitos mutagênicos e genotóxicos no ambiente aquático (Tambosi, 2008; Richard *et al.*, 2013; Rivera-Utrilla *et al.*, 2013; Tonucci, 2014). Durante um tempo acreditava-se que essa baixa concentração não seria prejudicial ao meio ambiente. Entretanto, Sanderson *et al.* (2004) puderam validar que os fármacos podem ser bioacumulativos em seres vivos por serem lipofílicos.

Os antibióticos podem proporcionar o desenvolvimento de bactérias resistentes e os hormônios podem afetar características do sistema reprodutivo de organismos aquáticos, como a feminilização de peixes machos presentes em rios contaminados com descartes de efluentes de Estação de Tratamento de Esgoto (Bila e Dezotti 2003; Falqueto *et al.*, 2010; Miranda *et al.*, 2011).

No Reservatório Billings, o Diclofenaco, o Ibuprofeno e a Cafeína foram os principais medicamentos identificados em maiores concentrações (Almeida e Weber 2005; Borrely *et al.*, 2012), podendo, portanto, causar diversos problemas à saúde. Nos estudos realizados por Kummer (2010) e Henriques *et al.* (2010) a exposição crônica a concentrações baixas de certas classes de fármacos existentes no meio

ambiente, como os antineoplásicos, hormônios, antidepressores, antibióticos, analgésicos, anti-inflamatórios, antipiréticos e reguladores lipídicos, podem originar efeitos muito adversos na saúde humana; nomeadamente, lesão celular, desregulação endócrina, infertilidade, alteração comportamental, resistência aos antibióticos e alteração da pressão arterial, entre outros.

Routledge *et al.* (1998) analisaram duas espécies de peixes, *Oncorhynchus mykiss* e *Rutilus rutilus*, as quais foram expostas por 21 dias a concentrações de  $17\beta$ -estradiol e estrona ambientalmente relevantes (1, 10, 100 ng l<sup>-1</sup>). De acordo com esses e outros pesquisadores, os resultados confirmaram que os estrogênios identificados em efluentes domésticos estão presentes em quantidades suficientes para induzir a síntese de vitelogenina (VTG) em espécies de peixes, aumentando, portanto, a massa do fígado. A vitelogenina é uma proteína precursora de gema de ovo, produzida pelo fígado, expresso especificamente nas fêmeas, quando encontrada nos machos, frente a hormônios, torna-se uma proteína um biomarcador (marcador biológico da ocorrência dos hormônios) para disfunções do sistema endócrino (Sumpter e Jobling, 1995).

#### Metodologia

O desenvolvimento do trabalho está pautado em duas etapas distintas. A primeira delas foi desenvolvida através de pesquisa definida como revisão bibliográfica (Marconi e Lakatos, 2010). A coleta de dados bibliográficos foi feita fazendo uma relação entre os autores, com uma análise crítica visando os riscos ambientais que o descarte de medicamentos incorreto pode trazer. As bases de dados consultadas no período de 2014 a 2017 foram: Periódicos Capes, Google Scholar, ScienDirect, Scielo e IEEExplore, ProQuest e Web of Science. Também realizou-se uma análise de documentos secundários, tais como os documentos da Agência Nacional de

Saneamento Básico e Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), e o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2005).

Posteriormente aplicou-se um questionário para coleta de dados uma coleta de dados referentes ao descarte e armazenamento de medicamentos; a montagem do questionário foi baseada nas questões abordadas por Gasparini e Frigieri (2011) e Miranda *et al.* (2011). Os entrevistados receberam o formulário com as seguintes questões: Sexo / Idade / Escolaridade / Quando ocorre 'sobra' do medicamento após tratamento, qual sua atitude? / Caso mantenha medicamentos guardados em casa, indique os de uso mais frequente: / Como você descarta os medicamentos que não fará mais uso? / Você acredita que a forma de descartar seus medicamentos pode causar algum impacto ambiental? / Você já obteve alguma informação sobre a forma correta de descartar seus medicamentos?

Os formulários foram distribuídos em redes de farmácias na região central das cidades de Itapevi e Guarulhos (Grande São Paulo), aplicados pelos funcionários das farmácias, e foram respondidos por 50 consumidores de produtos farmacêuticos em ambas as regiões.

#### Resultados e Discussão

Através do questionário aplicado em Guarulhos e Itapevi, verificou-se que a maioria das pessoas entrevistadas, independentemente do nível de escolaridade, fazem o descarte de medicamento de maneira incorreta, sem o mínimo de orientação. Na Figura 1, referente a Cidade de Guarulhos, observou-se que 84% fazem o descarte de maneira incorreta (lixo, pia, ralos, vasos sanitários), enquanto na cidade de Itapevi 92% descartam resíduos de medicamentos no lixo comum. Observou-se que na cidade de Guarulhos 16% guardam as sobras de medicamentos para utilizar novamente, enquanto na cidade de Itapevi 8% da população age da mesma maneira, o que pode sugerir uma automedicação,

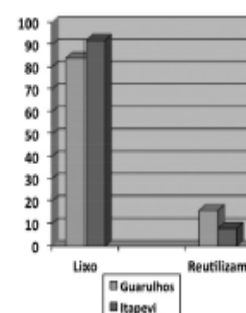


Figura 1. Como a população de Guarulhos e Itapevi descartam seus medicamentos.

outro grave problema de saúde pública no país.

A respeito do consumo de medicamentos, na Figura 2 observa-se que mais de 90% da população consome algum tipo de medicamento, sendo que a maioria consome anti-inflamatórios: 53% na cidade de Guarulhos e 31% na cidade de Itapevi; Antibióticos: 29% e 16%; Hormônios: 12% e 13%; e os MIP's (medicamentos isentos de prescrição médica) estes sendo os maiores em consumo 67% na cidade de Guarulhos e 37% na cidade de Itapevi. Onde conclui-se que com o crescimento populacional e industrial o consumo de medicamentos, principalmente das classes que não necessitam de prescrição médica.

Os compostos farmacêuticos são projetados para terem um modo específico de ação e serem persistentes, mantendo sua estrutura química, por tempo

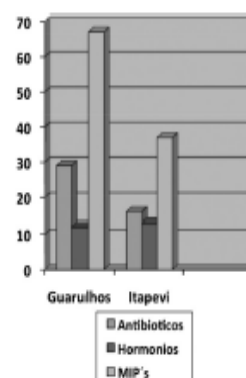


Figura 2. Classe de medicamentos utilizados pela população.



## ANÁLISE DO POTENCIAL DA PRODUÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DA INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA CIDADE DE SÃO PAULO

Douglas Eldo Pereira de Oliveira, Amanda Carvalho Miranda, Rogério Bonette Klepa, Marco Antonio Cortellazzi Franco, Silvério Catureba da Silva Filho e José Carlos Curvelo Santana

### RESUMO

No Brasil o principal destino dos resíduos sólidos urbanos são os aterros controlados e sanitários embora uma parte considerável ainda seja enviada a depósitos a céu aberto mais conhecido como lixões. Qualquer que seja destinação dada a esses resíduos (aterros ou lixões) um monitoramento constante dessas áreas é necessário devido à geração efluentes líquidos e gasosos que necessitam de tratamentos especiais, geralmente por prazos superiores ao triplo do utilizado como depósito dos resíduos. Nas principais cidades as áreas utilizadas para esse fim encontram-se saturadas e a necessidade de destinar novas áreas a essa finalidade mostra que esse tipo de solução apenas transfere o prob-

lema para o futuro sem solucioná-lo. A alternativa mais utilizada no mundo para esse problema é a utilização desses resíduos sólidos como combustível de usinas termoeletricas. O objetivo deste trabalho foi o de realizar um estudo da viabilidade da incineração de resíduos sólidos urbanos para a produção de energia elétrica na cidade de São Paulo. O estudo foi desenvolvido a partir de uma pesquisa bibliográfica. Os resultados obtidos indicaram que a alternativa estudada é viável e que a quantidade de resíduos sólidos urbanos coletados pela cidade de São Paulo permite a geração anual de até 4.591GW de energia elétrica e a obtenção de uma receita de R\$ 155x10<sup>6</sup>/ano.

### Introdução

A oferta de energia é um fator determinante no desenvolvimento de uma sociedade. No Brasil, as fontes de energia mais utilizadas são a hidroelétrica, os derivados de petróleo, o carvão mineral e a nuclear. Como os recursos fósseis não são renováveis, o potencial hidroelétrico é finito e mal distribuído e a utilização da energia nuclear é restrita, observa-se um crescente interesse na utilização de fontes alternativas para a geração

de energia (EPE, 2014; Miranda *et al.*, 2017).

Segundo Machado (2015) e Maranhão (2008) a incineração de resíduos sólidos urbanos (RSU) é uma fonte alternativa de energia utilizada em vários países, mas pouco difundida no Brasil, justificando assim uma análise exploratória de suas características com o fim de orientar as políticas públicas a respeito.

No Brasil, os RSU são destinados principalmente em aterros controlados e aterros sanitários, apesar de parte con-

siderável ainda ser enviada para áreas conhecidas como lixões (EPE, 2014). Nas principais cidades brasileiras, esses locais estão quase saturados e, segundo a mesma publicação, a necessidade de construir novos aterros mostra que a adoção de soluções similares apenas transfere o problema para o futuro sem efetivamente resolvê-lo, motivando assim, novos estudos sobre a aplicação de soluções que reduzam a quantidade de lixo a ser disposta, e ainda permitam benefícios adicionais

como a obtenção de receitas pela comercialização de outros produtos gerados, como energia elétrica, energia térmica, biocombustíveis, aproveitamento de recicláveis, adubos naturais e cinzas utilizadas na construção civil (EPE, 2014; Oliveira *et al.*, 2017).

Uma aplicação interessante foi a desenvolvida por Klepa (2012) e Klepa *et al.* (2017), para a produção de uma matéria-prima com potenciais características tanto para absorver quanto refletir energia, a partir da reutilização de resí-

PALAVRAS CHAVE / Créditos de Carbono / Desenvolvimento Sustentável / Geração de Energia / Incineração / Resíduo Sólido Urbano /

Recebido: 16/11/2017. Modificado: 23/10/2018. Aceito: 26/10/2018.

**Douglas Eldo Pereira de Oliveira.** Graduado em Tecnologia da Produção, Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga (Fatec), Brasil. Mestrando em Cidades Inteligentes e Sustentáveis, Universidade Nove de Julho (Uninove), Brasil. e-mail: douglasepo@yahoo.com.br

**Amanda Carvalho Miranda.** Graduada em Farmácia e Bioquímica, Mestre e Doutoranda em Engenharia de Produção, Uninove, Brasil. Docente, Uni-

nove, Brasil. e-mail: mirandacal@hotmail.com

**Rogério Bonette Klepa.** Graduado em Engenharia Elétrica, Universidade Cidade de São Paulo, Brasil. Mestre e Doutorando em Engenharia de Produção, Uninove, Brasil. Docente, Uninove, Brasil. e-mail: klepao@gmail.com

**Marco Antonio Cortellazzi Franco.** Graduado em Engenharia Industrial Mecânica, Faculdade de Engenharia Industrial, Bra-

sil. Mestre e Doutorando em Engenharia de Produção, Uninove, Brasil. e-mail: marcofranco@uol.com.br

**Silvério Catureba da Silva Filho.** Graduado em Engenharia Industrial Química, Escola de Engenharia de Lorena-USP, Brasil. Mestre e Doutor em Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Brasil. Docente, Uninove, Brasil. e-mail: silverio@uni9.pro.br

**José Carlos Curvelo Santana.** Graduado em Química Industrial, Universidade Federal de Sergipe, Brasil. Mestre e Doutor em Engenharia Química, Unicamp, Brasil. Docente, Uninove, Brasil. Endereço: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Uninove. Av. Francisco Matarazzo, 612, CEP: 05001-100, Água Branca, São Paulo, SP, Brasil. e-mail: jc-curvelo@uni9.pro.br

### Emissões de gases de efeito estufa pelos RSU

De acordo com a *United States Environmental Protection Agency* (EPA) são quatro as principais formas de relacionar os RSU com o efeito estufa (EPA, 2017): 1) emissão de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) decorrente do consumo de energia para extração e produção dos bens (incluindo a extração e processamento dos combustíveis a serem usados); 2) emissão de  $\text{CO}_2$  oriunda do consumo não-energético de combustíveis no processo de produção dos bens; 3) emissão de metano ( $\text{CH}_4$ ) devido a decomposição de restos de alimentos depositados nos aterros sanitários; e 4) fixação de carbono das parcelas dos materiais que não se decompõem nos aterros sanitários.

Pode-se considerar como uma quinta relação a emissão de  $\text{CO}_2$  devida ao transporte dos resíduos, desde a coleta até a destinação final.

As emissões produzidas pela decomposição dos resíduos nos aterros sanitários são

compostas por  $\text{CH}_4$  (45-60%),  $\text{CO}_2$  (40-60%), nitrogênio (2-5%) e, em quantidades <1%, por dezenas de contaminantes orgânicos e inorgânicos conhecidos pela sigla NMOC (*non-methane organic compounds*), que incluem benzeno, tolueno, organoclorados, mercúrio, e organometálicos (EPE, 2008; Rezende, 2015).

Embora relativamente constantes em termos de composição química, as emissões variam tanto na velocidade de produção quanto na quantidade produzida ao longo do tempo de deposição em função de fatores climáticos, forma de disposição e da própria composição dos rejeitos (EPE, 2008; Rezende, 2015).

A Figura 1 apresenta a variação das emissões de gases de efeito estufa com o tempo de exposição ao meio ambiente, convertidos a  $\text{CO}_2$ , influenciada pela forma da deposição dos resíduos sólidos de restos de alimentos (condições ambientais tropicais e úmidas). Para os resíduos dispostos em vazadouro a céu aberto (lixão), as emissões acumuladas na

situação somaram 0,4t  $\text{CO}_2$  eq. Para os resíduos dispostos em aterro sanitário as emissões atingem 0,9t  $\text{CO}_2$  equivalente. Os dados apresentados na figura indicam que os resíduos de alimentos depositados em aterro sanitário emitem mais que o dobro do que aqueles depositados em lixões a céu aberto (EPE, 2014).

Segundo Rezende (2015) em todo o mundo os aterros sanitários produzem entre 20 e  $60 \times 10^6$  t/ano de  $\text{CH}_4$  como resultado direto da decomposição orgânica dos componentes do lixo, evidenciando que mesmo nos aterros sanitários, tidos como a melhor solução para os RSU, as emissões de gases de efeitos estufa são elevadas, principalmente nos primeiros anos de operação.

Além dos gases de efeito estufa a decomposição dos componentes orgânicos presentes no lixo produz um efluente líquido conhecido como chorume que pode contaminar o lençol freático e provocar consideráveis danos ao ecossistema quando encaminhado a rios e lagos existente nas vizinhanças (EPE, 2014).

A incineração de RSU para a produção de energia elétrica contribui para a diminuição da emissão de gases de efeito estufa e do chorume pelos aterros sanitários, além de substituir parte da energia gerada a partir de fontes fósseis (EPE, 2014).

### Combustão do RSU

Apesar da expansão da indústria global de geração de energia a partir dos RSU na última década, centenas de milhões de toneladas de resíduos sólidos municipais são depositadas em aterros sanitários. Para cada tonelada de resíduo depositada em aterros, as emissões de gases com efeito de estufa, convertidos a  $\text{CO}_2$ , aumentam em pelo menos 1,3 toneladas (Themelis e Keufman, 2004a).

Atualmente a técnica mais utilizada para a geração de energia a partir dos resíduos sólidos urbanos é a combustão da matéria orgânica em caldeiras devido à sua simplicidade e custo de capital relativamente baixo. A fornalha mais comum foi desenvolvida pela Martin GmbH de Munique, Alemanha, e tem uma capacidade instalada para processar cerca de  $59 \times 10^6$  t por ano de resíduos. A usina de Brescia, Itália, é uma das mais recentes instalações da Martin GmbH. A Figura 2 apresenta um corte da câmara de combustão da caldeira dessa usina.

Segundo Themelis e Keufman (2004b) 47 dos 50 estados norte-americanos geram anualmente cerca de  $28,5 \times 10^6$  t de resíduos sólidos urbanos que podem ser incinerados para a produção de energia elétrica.

Para a International Solid Waste Association (IWSA) a

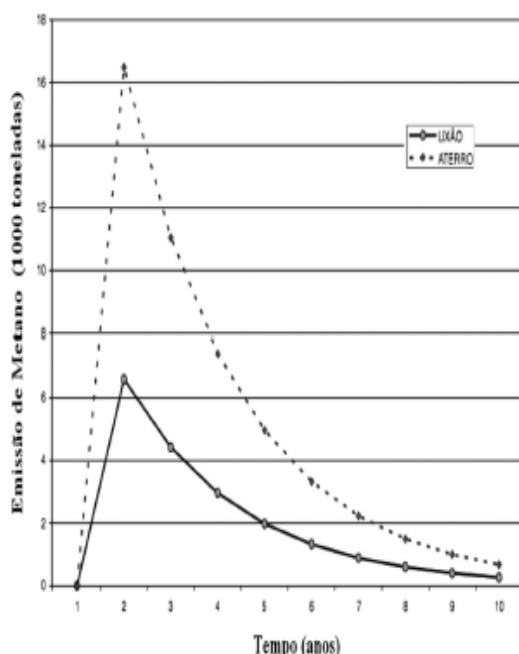


Figura 1. Emissões de metano por tipo de disposição de RSU. Adaptado de EPE (2014).

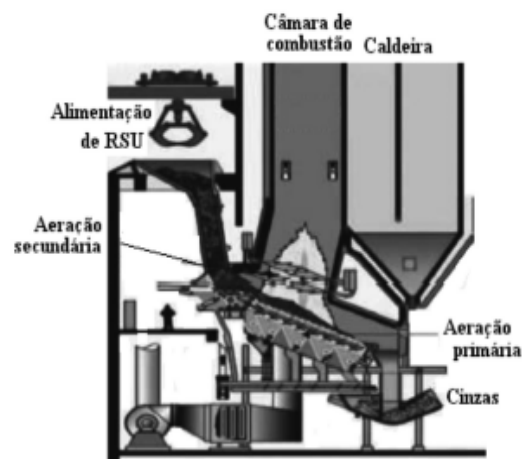


Figura 2. Fornalha tipo Martin usada para a combustão de RSU. Adaptado de Themelis (2003).

XXXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
"A Engenharia de Produção e suas contribuições para o desenvolvimento do Brasil"

Maceió, Alagoas, Brasil, 16 a 19 de outubro de 2018.

## **BENEFÍCIOS DA CERTIFICAÇÃO ISO 9001 EM EMPRESAS DE ENGENHARIA DE PROJETO E CONSULTORIA**

**Marco Antonio Cortellazzi Franco**

mafranco@uol.com.br

**José Carlos Curvelo Santana**

jccurvelo@yahoo.com.br

**Fabio Soares Arantes**

f\_sarantes@hotmail.com



*O Sistema de Gestão da Qualidade ISO 9001 disseminou-se de maneira impar nos últimos 10 anos, no final de 2006 era adotado por 170 países com um total de 896.905 certificações ativas e, no final de 2016, por 201 países com um total de 1.106.356 certificações, um aumento de 209.451 certificações ativas. Sua certificação traz segurança aos negócios realizados entre empresas, para o consumidor ao escolher determinado produto e às organizações, quando da qualificação de fornecedores. Muitos artigos tratam dos benefícios obtidos pela implantação e certificação da ISO 9001, porém, uma quantidade muito pequena aborda o setor de engenharia de projeto e consultoria. O objetivo deste trabalho foi o de explorar os benefícios obtidos pela implantação e certificação da ISO 9001 nas empresas brasileiras de engenharia de projeto e consultoria. Para atingir esse objetivo utilizou-se uma pesquisa de avaliação e, como instrumento para coleta de dados, um questionário estruturado por uma escala Likert de cinco pontos. Os resultados indicaram que os benefícios*



XXXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
"A Engenharia de Produção e suas contribuições para o desenvolvimento do Brasil"

Maceió, Alagoas, Brasil, 16 a 19 de outubro de 2018.

*observados relacionam-se diretamente tanto ao marketing e imagem das empresas no mercado, quanto à melhoria da qualidade dos produtos e dos processos produtivos.*

*Palavras-chave: ISO 9001, Engenharia de projeto, Engenharia consultiva, Benefícios da ISO 9001*